

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

**NOSNÁ ŽELEZOBETONOVÁ KONSTRUKCE
VÍCEÚČELOVÉHO OBJEKTU**

LOAD BEARING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE OF MULTIPURPOSE BUILDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JIŘÍ KUDRNA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK GIRGLE, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	N3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3608T001 Pozemní stavby
PRACOVISŤE	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	Bc. Jiří Kudrna
NÁZEV	Nosná železobetonová konstrukce víceúčelového objektu
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	Ing. František Girgle, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	31. 3. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

.....
prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Základní stavební výkresy zpracovávaného objektu: půdorysy jednotlivých podlaží, řezy, geotechnické poměry, apod.

Platné návrhové normy a technické předpisy:

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí;

ČSN EN 1991-1-1 až 7: Zatížení stavebních konstrukcí;

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby;

ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb;

ČSN EN 206: Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.

Další literatura dle doporučení vedoucího diplomové práce.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Pro zadaný víceúčelový objekt proveďte statický návrh vybraných částí nosné konstrukce. Řešení proveďte pomocí vhodného MKP programu. Dále proveďte kontrolu výsledků pomocí výstižné zjednodušené ruční metody. Práce bude obsahovat dimenzování vybraných částí konstrukce (dle zadání vedoucího), výkresy tvaru a výztuže řešené části. Ostatní činnosti a případná zjednodušení zadané konstrukce provádějte v souladu s pokyny vedoucího diplomové práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje zprávu a ostatní náležitosti dle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady

P2. Výkresy tvaru a výztuže (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x).

Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě podle směrnic a 1x na CD.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

Ing. František Girgle, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Práce se zabývá statickým řešením železobetonové stropní desky, stěnového nosníku a jeho podpory ve víceúčelovém objektu. Konstrukce jsou navrženy a posouzeny dle platných norem. Spojitá jednosměrně pnutá deska je analyzována Metodou konečných prvků, stěnový nosník je řešen modelem náhradní příhradoviny.

KLÍČOVÁ SLOVA

jednosměrně pnutá spojitá deska, stěnový nosník, model náhradní příhradoviny

ABSTRACT

This work deals with the structural solution of reinforced concrete floor slab, deep beam and its support of multipurpose building. The structure is designed and assessed in according to valid standards. The continuous one-way slab is analyzed by Finite Element Method, deep beam is solved by Strut-and-Tie model.

KEYWORDS

continuous one-way slab, deep beam, Strut-and-Tie model

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

KUDRNA, J., *Nosná železobetonová konstrukce víceúčelového objektu*. Brno, 2016. 109 s., 122 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. František Girgle, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12.1.2017

Handwritten signature of Jiří Kudrna in blue ink.

.....
Bc. Jiří Kudrna

Poděkování:

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Františku Girglemu, Ph.D. za jeho ochotu a cenné připomínky a především za to, že jsem pod jeho vedením mohl svou práci vypracovat.

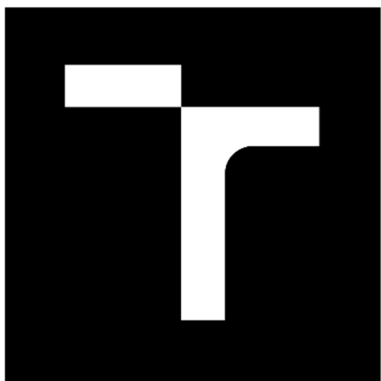
Obsah

A) Průvodní zpráva ke statickému výpočtu

1 Úvod.....	9
1.1 Obecné údaje o stavbě.....	9
2 Popis nosné konstrukce.....	10
2.1.1 Základové konstrukce.....	10
2.1.2 Svislé konstrukce.....	10
2.1.3 Vodorovné konstrukce	10
2.1.4 Materiál	10
2.1.5 Technologie výstavby.....	10
2.2 Zatížení.....	10
3 Závěr	10
4 Schéma nosné konstrukce	10

B) Statický výpočet

1 Návrh konstrukcí	20
1.1 Materiálové charakteristiky	20
1.2 Předběžný návrh rozměrů nosných prvků	20
2 Zatížení konstrukcí.....	24
2.1 Stálá zatížení	24
2.2 Proměnná zatížení	26
2.2.1 Užitná zatížení	26
2.2.2 Zatížení sněhem.....	26
2.2.3 Zatížení větrem.....	27
2.3 Lokální model stropní desky nad 1.NP	29
2.3.1 Zatížení modelu desky.....	30
2.3.2 Kombinace	35
2.4 Lokální model rámu ve sloupové řadě 3.....	36
2.4.1 Zatížení modelu rámu	38
2.4.2 Kombinace	49
3 Vnitřní síly v konstrukci	50
3.1 Ověření průběhu vnitřních sil na desce	57
4 Dimenzování vybraných konstrukcí	62
4.1 Dimenzování výztuže desky nad 1.NP	62
4.1.1 Návrh a posouzení výztuže na MSÚ	62
4.1.2 Ověření únosnosti desky na smyk.....	70
4.1.3 Posouzení na MSP – průhyb	71
4.2 Dimenzování stěnového nosníku	76
4.3 Dimenzování sloupu S3 v 1.NP	103



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

**NOSNÁ ŽELEZOBETONOVÁ KONSTRUKCE
VÍCEÚČELOVÉHO OBJEKTU**

LOAD BEARING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE OF MULTIPURPOSE BUILDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

A) PRŮVODNÍ ZPRÁVA KE STATICKÉMU VÝPOČTU

1 Úvod

Předmětem diplomové práce je návrh a posouzení vybraných prvků zadaného víceúčelového objektu, tj. dimenzování jednoho železobetonového stěnového nosníku, stropní desky nad 1.NP a sloupu 1.NP. Spojitá stropní deska bude řešena v MKP programu Scia Engineer a ověřena obecnou deformační metodou. Účinky zatížení na stěnový nosník budou určeny z MKP, model stěnového nosníku bude dále řešen metodou vzpěra-táhlo (Strut and Tie) vytvořeném na základě 2D lineární analýzy.

1.1 Obecné údaje o stavbě

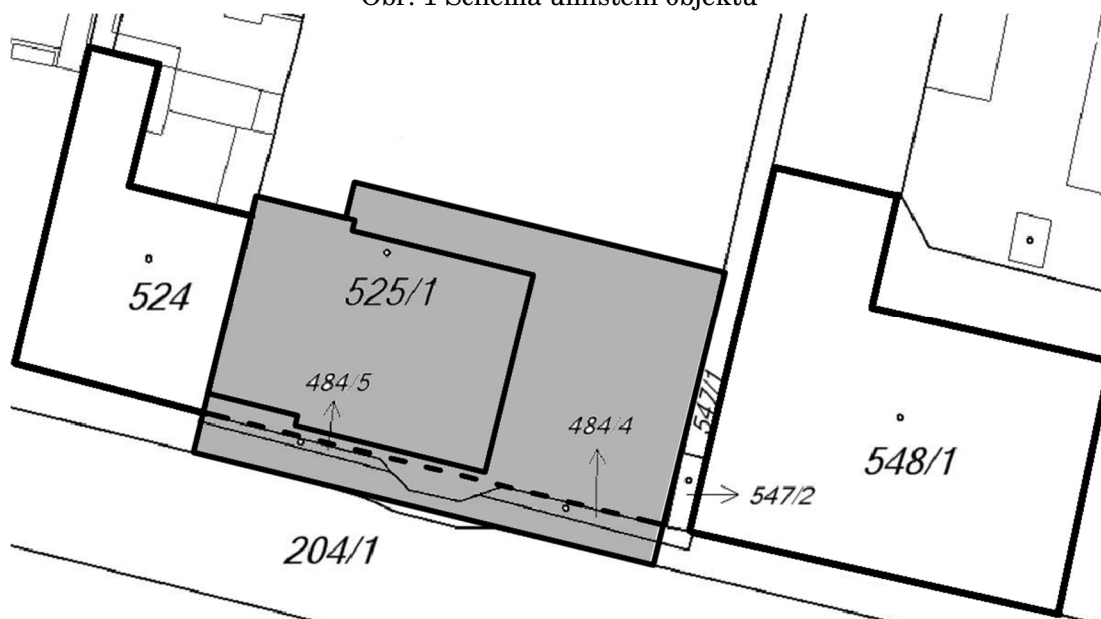
Zadaný objekt se nachází v Brně na ulici Hlinky, nedaleko hlavní brány Brněnského výstaviště. Půdorysné rozměry objektu jsou 29,2×18,6 m včetně obvodového pláště. Budovu tvoří pět nadzemních podlaží, maximální výška atiky nad terénem budovy je 17 m, objekt nepřevyšuje okolní zástavbu. Budova je pomocí stěnového nosníku vykonzolována cca o 2,8 m do ulice nad chodník. Prostorová tuhost bude zajištěna v příčném směru štítovými stěnami a v podélném směru schodišřovým jádrem a vřtahovou řachtou.

Stavba bude sloužit pro ubytování a stravování. Popis využití:

- 1.NP: hala, komunikační prostory, schodiště a vřtah, technické zázemí hotelu, recepcce hotelu, restaurace, kuchyně a její zázemí, průjezd do dvora;
- 2.-4.NP: hotelové pokoje, komunikační prostory, zázemí hotelu;
- 5.NP: samostatné střešní apartmá majitele budovy, střešní terasa.

Objekt uličním průřelím zastavuje proluku, z jedné strany ponechává přístup k zahrádkám nad řešeným pozemkem a z druhé přiléhá k sousední budově.

Obr. 1 Schéma umístění objektu



2 Popis nosné konstrukce

2.1.1 Základové konstrukce

Na základě inženýrskogeologického průzkumu byly určeny základové poměry jako složité. Povrchovou vrstvu podloží tvoří do hloubky 2 m navážky, v hloubce kolem 6,5 m přechází prachovitě hlíny F5-MI ve zvětralé skalní podloží R6. V ploše stavební parcely se nevyskytuje vysoká hladina podzemní vody.

Na základě těchto skutečností se založení předpokládá hlubinné. Půjde o kombinaci velkopřůměrových vrtaných pilot pod sloupy 1.NP a mikropilot pod štitovými stěnami. Díky tomuto řešení, lze předpokládat, že sednutí významně neovlivní horní stavbu (především spojitou stropní desku). V místě průčelí bude základové konstrukce doplněny pasy.

2.1.2 Svislé konstrukce

Nosný systém je navržen jako železobetonový skelet s příčnými rámy. Modulová vzdálenost ráků je 5,4 m. Rám je v 5.–3.NP tvořen sloupy 0,5 až 0,4×0,25 m, které ve 2.NP přechází ve stěnový nosník tloušťky 0,25 m, délky 18 m a ten je v 1.NP opět podepřen sloupy 0,7 až 0,4×0,35 m. Boční stěny jsou 0,2 m široké, až na výjimku plné po celé výšce. Konstrukční výška 1.NP je 4 m, 2. až 4.NP je 3 m, v 5.NP je 3,5 m. Nenosnou část obvodového pláště tvoří keramické tvárnice Porotherm 24. Vnitřní prostory jsou odděleny akustickými stěnami Porotherm 25 AKU SYM a příčkami Porotherm 14 a 8.

2.1.3 Vodorovné konstrukce

Vodorovné konstrukce mimo střešní desku, tvoří jednosměrně pnutá deska konstantní tloušťky 200 mm. Staticky tato deska působí jako spojitá o pěti polích. Krajsní podpory jsou tvořeny štitovými stěnami, vnitřní podpory tvoří stěnový nosník a průvlaky mezi sloupy. Křížem vyztužená deska posledního podlaží se staticky chová jako lokálně podepřená.

2.1.4 Materiál

Nosný skelet horní stavby bude v celé budově ze stejného materiálu vyrobeného dle ČSN EN 206 C30/37 - XC1 - Cl 0,1 - D_{max} 32 - S3. Beton základových konstrukcí bude třídy C20/25 - XC2, XA1 - Cl 0,1 - D_{max} 32 - S3. Betonářská výztuž je žebírková z oceli třídy B500 B, vázaná na místě.

2.1.5 Technologie výstavby

Nosná konstrukce bude železobetonová monolitická. Pracovní záběr bude střídat tvoření svislých a vodorovných konstrukcí s pracovní spárou mezi nimi. Bednění bude použito systémové.

2.2 Zatížení

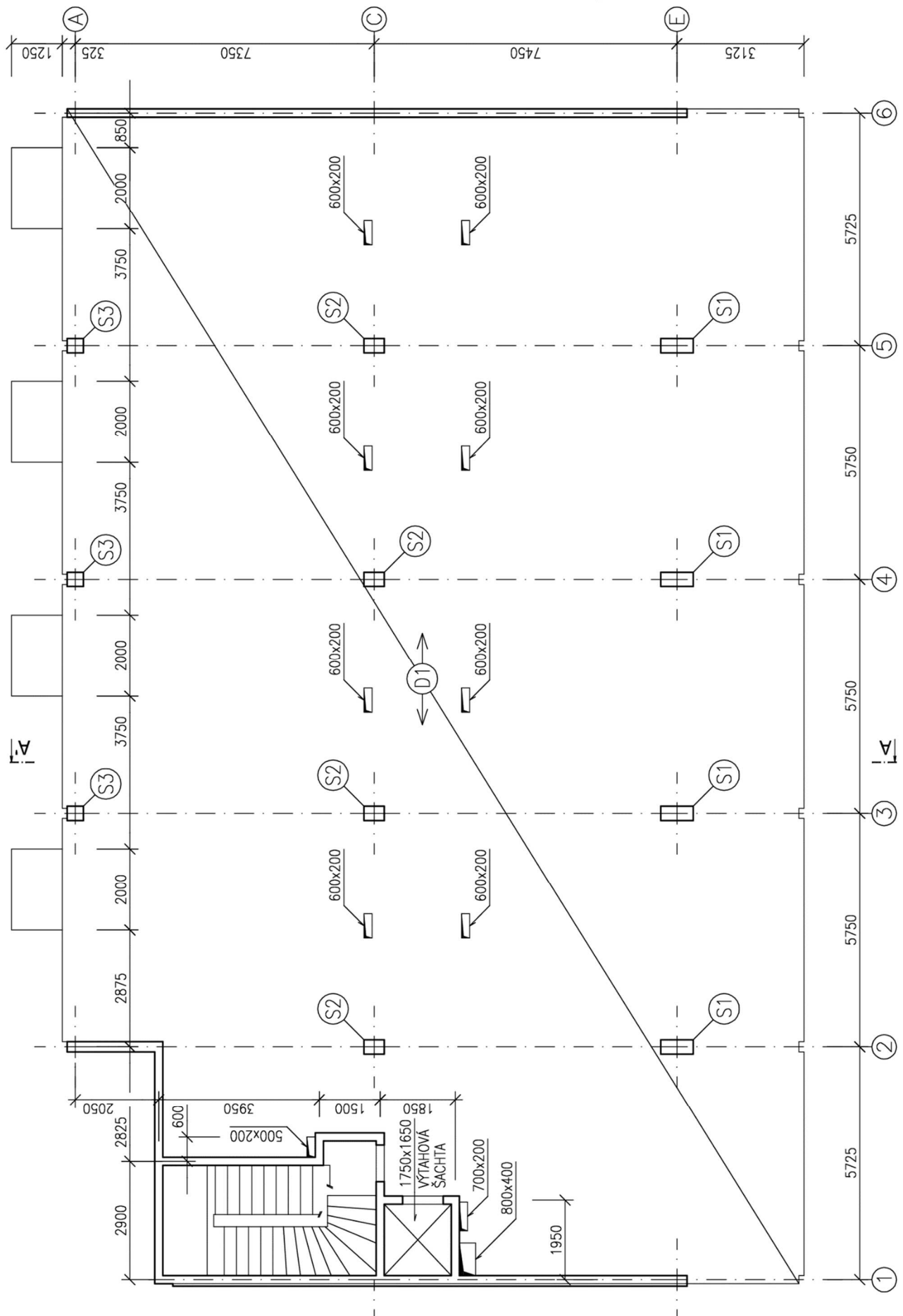
Hodnoty zatížení byly spočítány z nominálních rozměrů daných výkresovou dokumentací a podkladů jednotlivých výrobců materiálů, hodnoty viz B) Statický výpočet.

3 Závěr

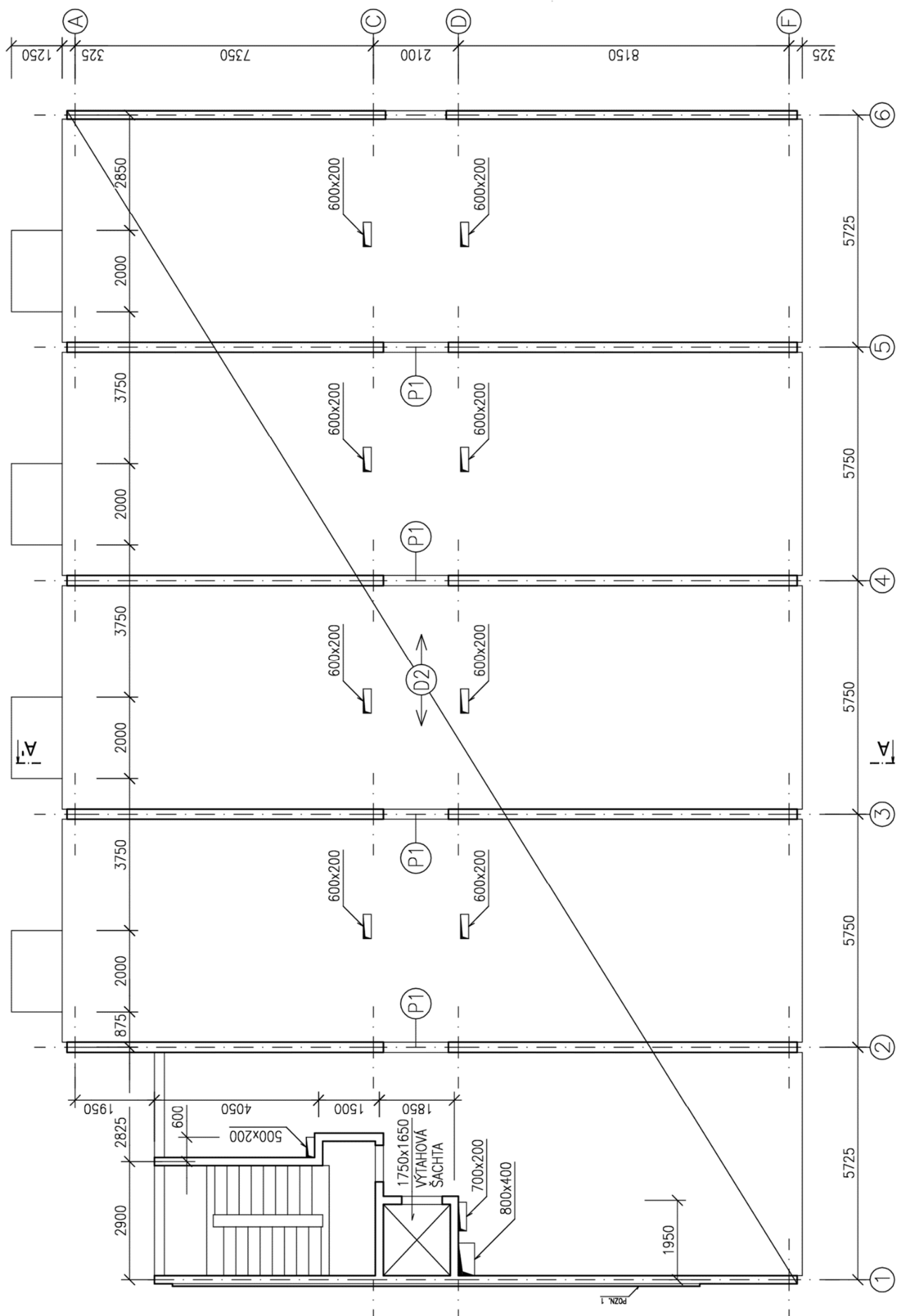
Jednotlivé prvky navrhované konstrukce byly navrženy dle platných norem a konstrukčních zásad.

4 Schéma nosné konstrukce

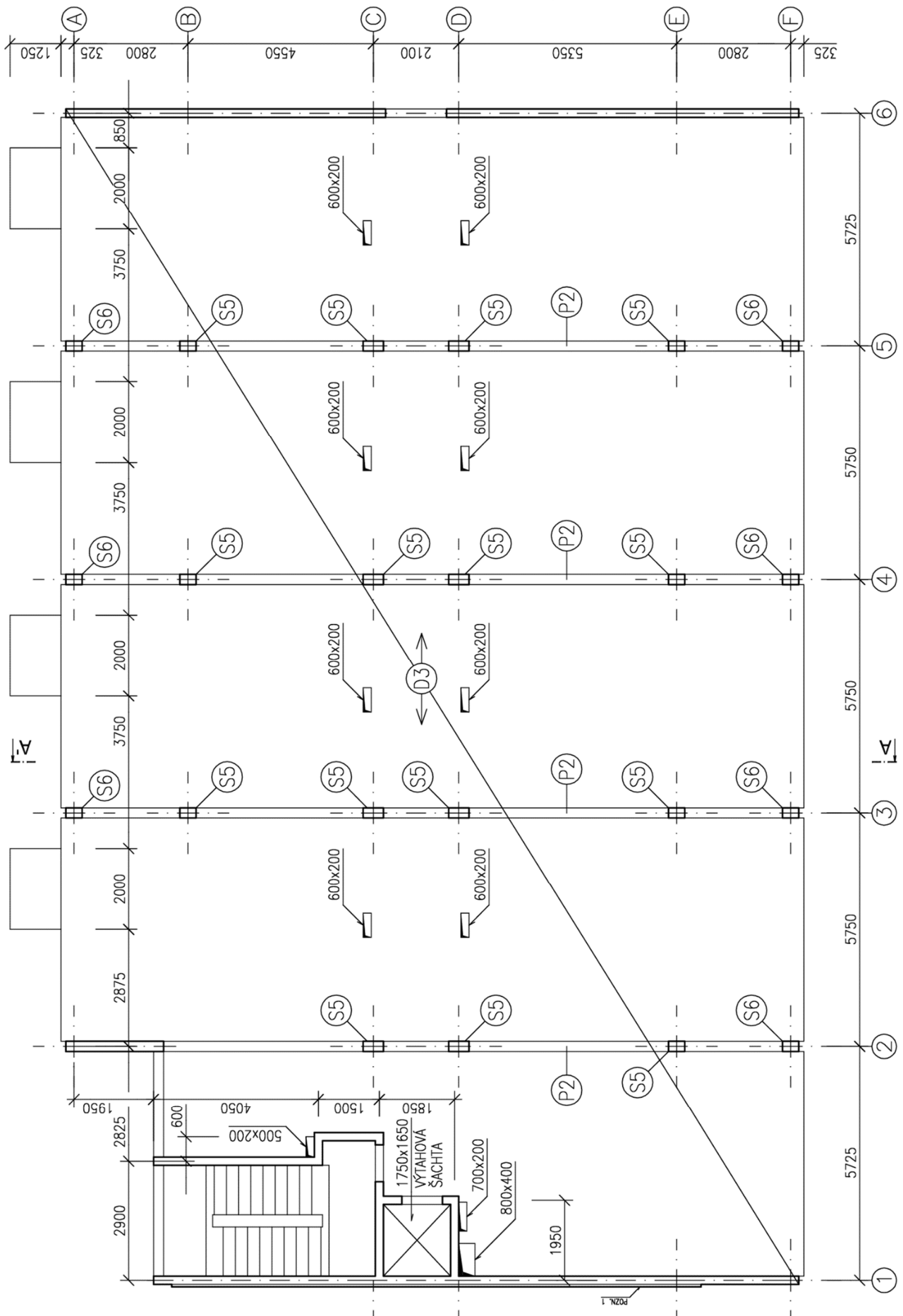
Obr. 2 Konstrukční schéma 1.NP



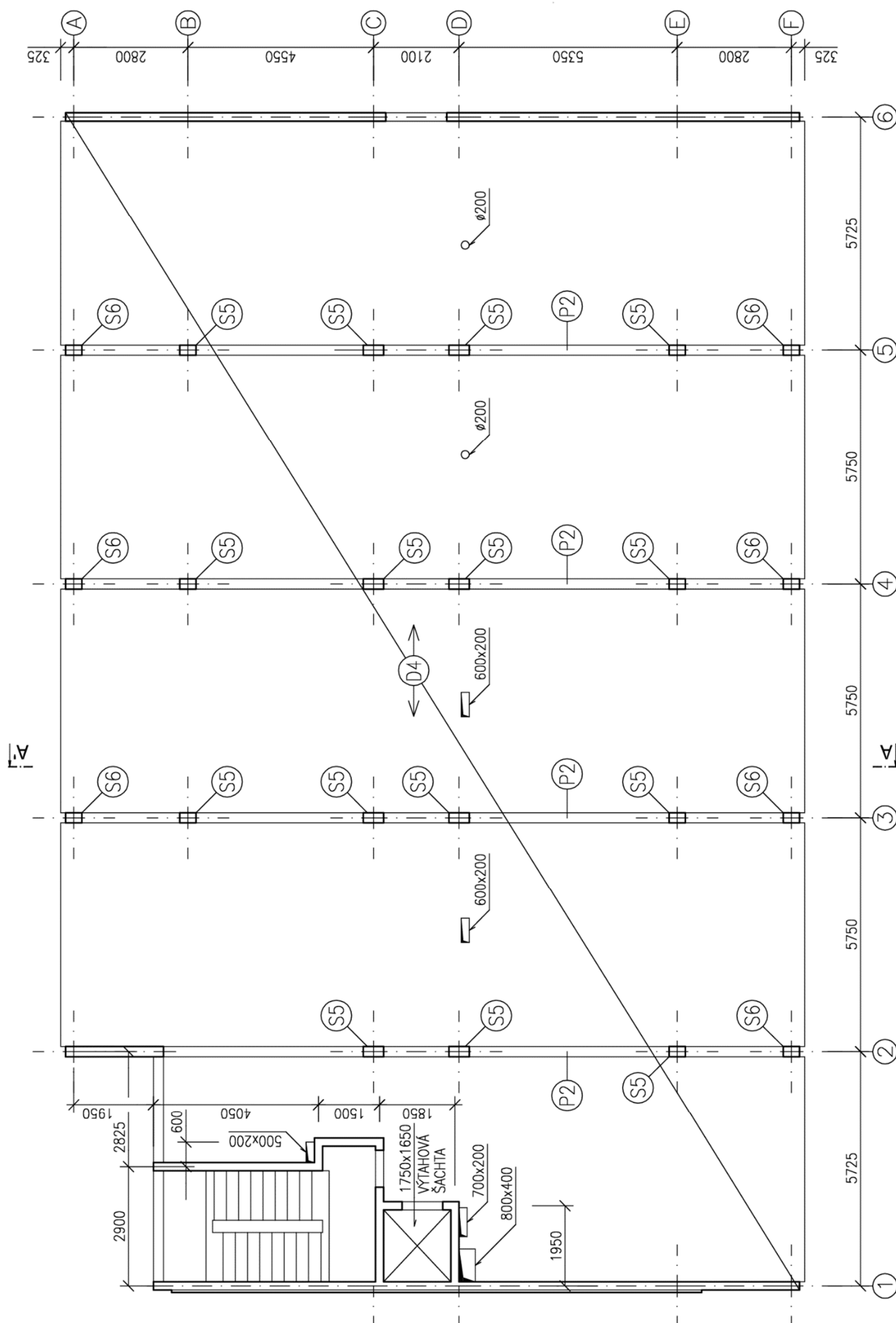
Obr. 3 Konstrukční schéma 2.NP



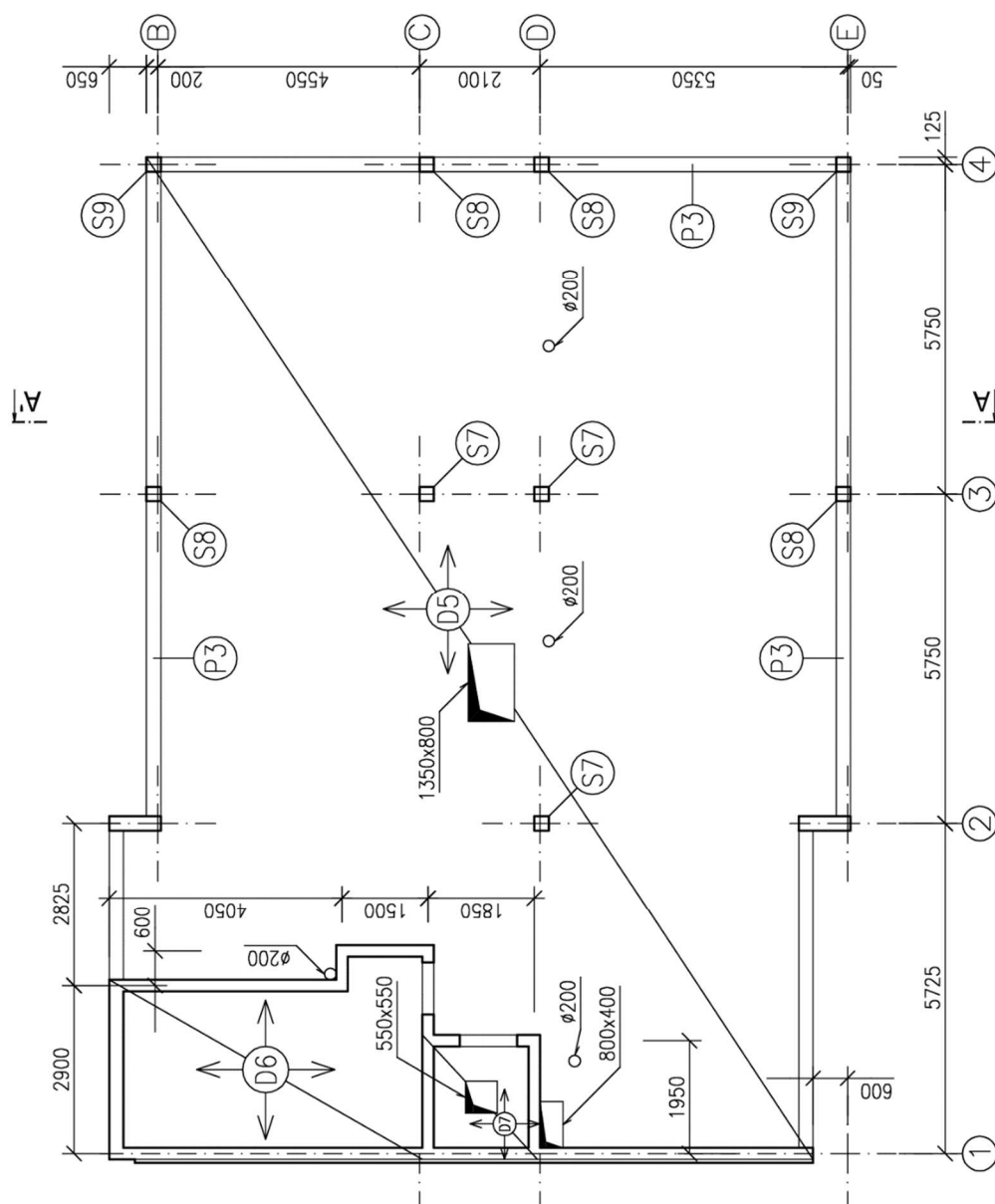
Obr. 4 Konstrukční schéma 3.NP



Obr. 5 Konstrukční schéma 4.NP



Obr. 6 Konstrukční schéma 5.NP



Obr. 7 Schématický řez AA'



Seznam použitých zdrojů

1. **ČSN EN 1990 ed. 2.** *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. str. 100. Třídící znak 73 0002.
2. **ČSN EN 1991-1-1.** *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha : Český normalizační institut, 2004. str. 44. Třídící znak 73 0035.
3. **ČSN EN 1991-1-3 ed. 2.** *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. str. 52. Třídící znak 73 0035.
4. **ČSN EN 1991-1-4 ed. 2.** *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. str. 124. Třídící znak 73 0035.
5. **ČSN EN 1992-1-1 ed. 2.** *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. str. 202. Třídící znak 73 1201.
6. **ČSN 73 1201.** *Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. str. 64. Třídící znak 73 1201.
7. *Technický list Porotherm 25 AKU SYM* [Online] Wienerberger [Cit. 15. 11. 2016.] <http://wienerberger.cz/ke-stazeni/20160707111341/technick%C3%BD-list-porotherm-25-aku-sym-ppn14.pdf>.
8. *Technický list Porotherm 24* [Online] Wienerberger [Cit. 15. 11. 2016.] <http://wienerberger.cz/ke-stazeni/20160720060408/technick%C3%BD-list-porotherm-24-ppn14.pdf>
9. *Technický list Porotherm 14* [Online] Wienerberger [Cit. 15. 11. 2016.] <http://wienerberger.cz/ke-stazeni/20160720062615/technick%C3%BD-list-porotherm-14-ppn14.pdf>
10. *Technický list Porotherm 8* [Online] Wienerberger [Cit. 15. 11. 2016.] <http://wienerberger.cz/ke-stazeni/20160721123610/technick%C3%BD-list-porotherm-8-ppn14.pdf>
11. *Technické informace dle Eurokódu* [Online] Schöck-Witteck [Cit. 16. 11. 2016.] http://www.schoeck-witteck.cz/upload/files/download/Technick_informace_Schoeck_Isokorb_%5B3708%5D.pdf
12. Karel Semrád, Csaba Szücs. *Řešené příklady betonových konstrukcí pomocí příhradové analogie*, Katedra betonových a zděných konstrukcí ČVUT Praha, 2009. str. 91
13. ŠMEJKAL, Jiří, Jaroslav PROCHÁZKA. Navrhování stěnových nosníků s použitím modelů náhradní příhradoviny. *Beton: technologie - konstrukce - sanace*. Praha: Česká betonářská společnost, 2010-6, ISSN 1213-3116.

Seznam použitých zkratk a symbolů

viz článek 1.6 normy [1], článek 1.5 normy [2], článek 1.7 normy [3], článek 1.7 normy [4], článek 1.6 normy [5]

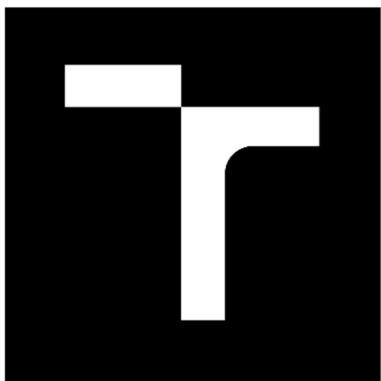
Seznam příloh textové části

C) VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

VČ1 - VÝKRES TVARU STROPNÍ DESKY NAD 1.NP
VČ2 - VÝKRES TVARU STROPNÍ DESKY NAD 2.NP
VČ3 - VÝKRES TVARU STROPNÍ DESKY NAD 3.NP
VČ4 - VÝKRES TVARU STROPNÍ DESKY NAD 4.NP
VČ5 - VÝKRES TVARU STŘEŠNÍ DESKY NAD 5.NP
VČ6 - ŘEZ A-A' VÝKRESU TVARU
VČ7 - VÝKRES SPODNÍ VÝZTUŽE DESKY
VČ8 - VÝKRES HORNÍ VÝZTUŽE DESKY
VČ9 - VÝKRES VÝZTUŽE STĚNOVÉHO NOSNÍKU
VČ10 - VÝKRES VÝZTUŽE SLOUPU

D) POUŽITÉ PODKLADY

SP2 - PŮDORYS 2.NP
SP3 - PŮDORYS 3.NP
SP4 - PŮDORYS 4.NP
SP5 - PŮDORYS 5.NP
SP6 – STŘECHA
SP7 - PŘÍČNÝ ŘEZ A-A'
SP8 - PODELNÝ ŘEZ B-B'



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

**NOSNÁ ŽELEZOBETONOVÁ KONSTRUKCE
VÍCEÚČELOVÉHO OBJEKTU**

LOAD BEARING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE OF MULTIPURPOSE BUILDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

B) STATICKÝ VÝPOČET

1 Návrh konstrukcí

1.1 Materiálové charakteristiky

(horní stavba)

Beton C30/37 – XC1 – Cl 0,1 – Dmax 32 – S3

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}; f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}; f_{ctk;0,05} = 2,0 \text{ MPa}; f_{ctd} = \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_b} = \frac{2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa} = 32 \times 10^3 \text{ MPa}; \varepsilon_{cu3} = 3,5\%$$

Žebírková Ocel B 500B

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}; f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa} = 200 \times 10^3 \text{ MPa}; \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{200\,000} = 2,17\%$$

1.2 Předběžný návrh rozměrů nosných prvků

Návrh tloušťky lokálně podepřené po obvodě ztužené desky

Návrh staticky účinné výšky d z podmínky vymežující ohybové štíhlosti:

$$\lambda = \frac{L_{max}}{d} \leq \lambda_d = \kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{d,tab}$$

$$d \geq \frac{L_{max}}{\kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{d,tab}} = \frac{5750}{1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 24} = 265 \text{ mm}$$

předběžný odhad výztuže $\varnothing 10 \text{ mm}$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 10 + 10 = 20 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}) = \max(10; 10; 10) = 10 \text{ mm}$$

$$\text{pak tloušťka desky } h_s \geq d + \frac{\phi}{2} + c_{nom} = 265 + \frac{10}{2} + 20 = 290 \text{ mm}$$

navrženo $h_s = 300 \text{ mm}$ konstantní v celé ploše

Návrh tloušťky spojitě jednosměrně pnuté desky

$$h_s \geq \left(\frac{1}{30} \div \frac{1}{25} \right) L_{eff} = \left(\frac{1}{30} \div \frac{1}{25} \right) 5750 = (192 \div 230) \text{ mm}$$

navrženo $h_s = 200 \text{ mm}$

Návrh výšky průvzlaku podporují jednosměrně pnutou desku

$$h_p = \left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{12} \right) L_{eff} = \left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{12} \right) 5400 = (540 \div 450) \text{ mm}$$

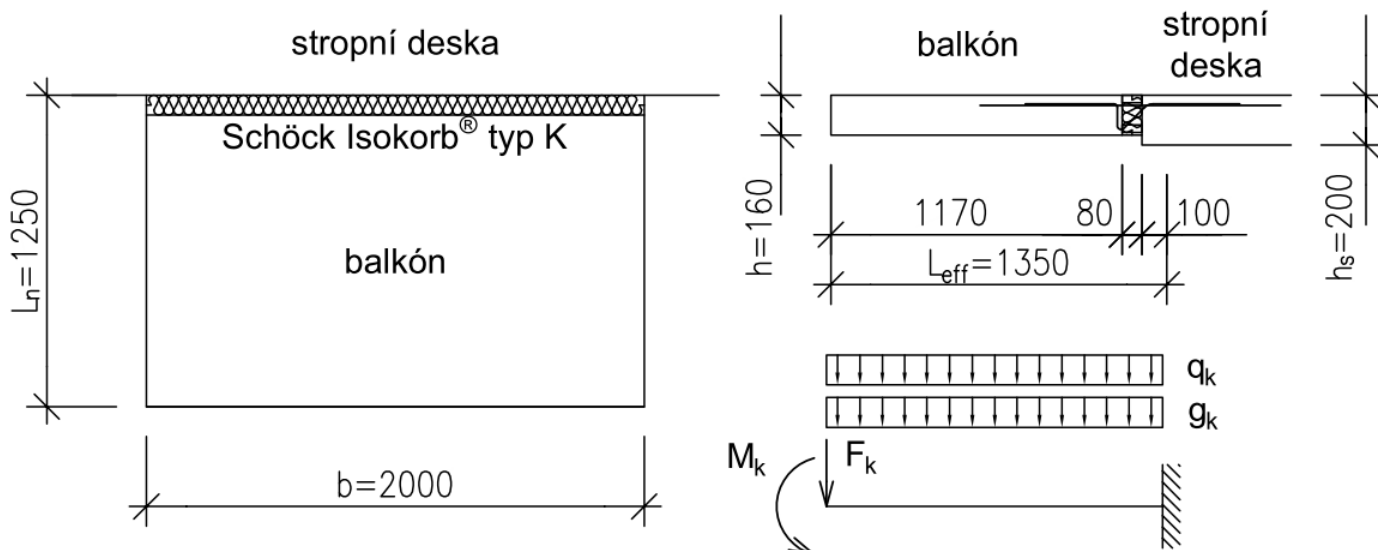
navrženo $h_p = 500 \text{ mm}$

Návrh tloušťky balkonové desky

$$h \geq \left(\frac{1}{14} \div \frac{1}{10} \right) L_{eff} = \left(\frac{1}{14} \div \frac{1}{10} \right) 1350 = (97 \div 135) \text{ mm}$$

navrženo $h_s = 160 \text{ mm}$ dle nejmenší výšky ISO nosníku

Obr. 8 Schéma ISO nosníku



Napojení balkonové desky je zarovnáno s horní hranou stropní desky, výškového odsazení spodní hrany balkonu je 40 mm, izolant tloušťky 80 mm je předsazen z desky do úrovně kontaktního zateplení.

předpokládané zatížení:

balkonová deska + skladba S5

zábradlí

užitné zatížení na balkonovou desku

užitné zatížení od vodorovných účinků

$$g_k = 1,8 + 0,16 \cdot 25 = 5,8 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$F_k = 1 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$q_k = 3 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$M_k = 0,5 \text{ kNm} \cdot \text{m}^{-1}$$

stupeň vlivu prostředí: interiér XC1, exteriér XC4 => krytí $c_{nom} = 30 \text{ mm}$

krytí viz druhá strana desky pro směr y => $c = 40 \text{ mm}$

$$d = h_s - c - \frac{\phi}{2} = 160 - 40 - \frac{8}{2} = 116 \text{ mm}$$

Balkónovou desku řeším odděleně od stropní desky, charakteristické hodnoty vnitřních sil ve vetknutí od stálého a užitného zatížení považuji za vnější okrajová břemena působící na stropní desku.

vnitřní síly ve vetknutí:

$$v_{gk} = -F_k - g_k \cdot L_{eff} = -1 - 5,8 \cdot 1,35 = -8,83 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$m_{gk} = -F_k \cdot L_{eff} - g_k \cdot L_{eff}^2 / 2 = -1 \cdot 1,35 - 5,8 \cdot 1,35^2 / 2 = -6,64 \text{ kNm} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$v_{qk} = -q_k \cdot L_{eff} = -3 \cdot 1,35 = -4,05 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$m_{qk} = -M_k - q_k \cdot L_{eff}^2 / 2 = -0,5 - 3 \cdot 1,35^2 / 2 = -3,23 \text{ kNm} \cdot \text{m}^{-1}$$

reakce ve vetknutí:

$$\begin{aligned} v_{Ed} &= \gamma_G \cdot v_{gk} + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot v_{qk} \\ m_{Ed} &= 1,35 \cdot 8,83 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 4,05 = 16,17 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \\ m_{Ed} &= \gamma_G \cdot m_{gk} + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot m_{qk} \\ m_{Ed} &= 1,35 \cdot 6,64 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 3,23 = 12,36 \text{ kNm} \cdot \text{m}^{-1} \end{aligned} \quad (6.10a)$$

$$\begin{aligned} v_{Ed} &= \gamma_G \cdot \xi \cdot v_{gk} + \gamma_Q \cdot v_{qk} \\ v_{Ed} &= 1,35 \cdot 0,85 \cdot 8,83 + 1,5 \cdot 4,05 = 16,21 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \\ m_{Ed} &= \gamma_G \cdot \xi \cdot m_{gk} + \gamma_Q \cdot m_{qk} \\ m_{Ed} &= 1,35 \cdot 0,85 \cdot 6,64 + 1,5 \cdot 3,23 = 12,46 \text{ kNm} \cdot \text{m}^{-1} \end{aligned} \quad (6.10b)$$

navrženo 2×Schöck Isokorb® typ K20S-CV30-V8-H160-R120

$$v_{Rd} = 54,8 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}, m_{Rd} = 15,4 \text{ kNm} \cdot \text{m}^{-1} \text{ viz [11] str. 44}$$

Podélná výztuž balkonu

$$A_{s,req} \cong \frac{m_{ed}}{f_{yd} \cdot 0,95d} = \frac{12,46}{434,78 \times 10^3 \cdot 0,95 \cdot 0,116} = 2,69 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

navržena výztuž $\varnothing 8/150$, $A_s = 3,35 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Příčná výztuž balkonu

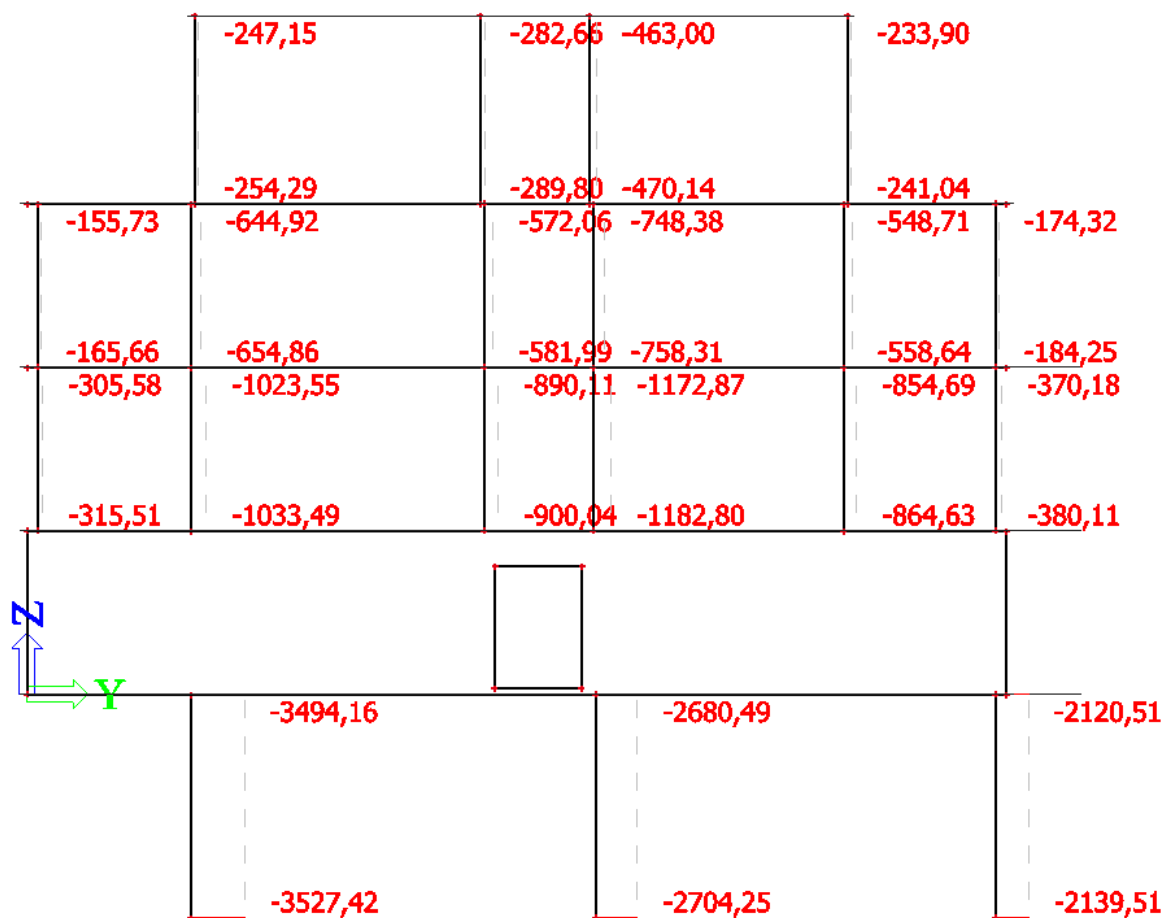
navržena výztuž $\varnothing 8/300$

Návrh rozměrů sloupů

Plocha sloupů byla určena iteračně po sestavení modelu rámu tak, aby vyhověla podmínce

$$A_c \geq \frac{N_d}{0,8f_{cd}}$$

Obr. 9 Průběh návrhových normálových sil z obálky kombinací určené na MKP modelu rámu



Sloupy střešního apartmá max $N_d = -470$ kN v patě sloupu

$$A_c \geq \frac{470}{0,8 \cdot 20 \times 10^3} = 0,03 \text{ m}^2$$

navržen rozměr sloupů $0,25 \times 0,25$ m, $A_c = 0,062$ m

Sloupy vetknuté do stěnového nosníku max $N_d = -1182,8$ kN v patě sloupu

$$A_c \geq \frac{1185}{0,8 \cdot 20 \times 10^3} = 0,074 \text{ m}^2 \Rightarrow h \geq \frac{A_c}{b} = \frac{0,074}{0,25} = 0,3 \text{ m}$$

navrženy rozměry sloupů $0,4 \times 0,25$ m

Vnější sloup 1.NP v místě převislého konce

$$A_c \geq \frac{3530}{0,8 \cdot 20 \times 10^3} = 0,22 \text{ m}^2$$

navržen rozměr sloupu $0,35 \times 0,7$ m, $A_c = 0,245$ m

Vnitřní sloup 1.NP

$$A_c \geq \frac{2705}{0,8 \cdot 20 \times 10^3} = 0,169 \text{ m}^2$$

navržen rozměr sloupu $0,35 \times 0,5$ m, $A_c = 0,175$ m

Vnější sloup 1.NP

$$A_c \geq \frac{2140}{0,8 \cdot 20 \times 10^3} = 0,134 \text{ m}^2$$

navržen rozměr sloupu $0,35 \times 0,4$ m, $A_c = 0,14$ m

2 Zatížení konstrukcí

2.1 Stálá zatížení

Vlastní tíha nosných prvků dle jejich rozměrů viz předchozí kapitola a výkresy tvaru.

Plošná

Tab. 1 Skladba S1 – střecha (nepochozí)

vrstva	rozměr/m	γ/kNm^{-3}	g_{ki}/kNm^{-2}
kačírek	0,050÷ <u>0,160</u>	22	3,52
2× modifikovaný asfaltový pás	-	-	0,10
spádové klíny z EPS 150	<u>0,020</u> ÷0,130	0,3	-
EPS 150	0,220	0,3	0,07
modifikovaný asfaltový pás	-	-	0,05
vlastní tíha ŽB desky	-	-	-
sádrokartonový podhled	-	-	0,30
		$\Sigma g_{ki} =$	4,0

Tab. 2 Skladba S3 – terasa

vrstva	rozměr/m	γ/kNm^{-3}	g_{ki}/kNm^{-2}
betonová dlažba	0,060	24	1,44
šterkové lože	0,020÷ <u>0,160</u>	23	3,68
2× modifikovaný asfaltový pás	-	-	0,10
spádové klíny z EPS 200	<u>0,020</u> ÷0,160	0,3	-
EPS 200	0,220	0,3	0,07
modifikovaný asfaltový pás	-	-	0,05
vlastní tíha ŽB desky	-	-	-
omítka	0,015	20	0,30
		$\Sigma g_{ki} =$	5,6

Tab. 3 Skladba S4 – lodžie

vrstva	rozměr/m	γ/kNm^{-3}	g_{ki}/kNm^{-2}
betonová mazanina spádovaná	0,040÷ <u>0,060</u>	24	1,44
modifikovaný A.P.	-	-	0,05
EPS 200	0,120	0,3	0,04
vlastní tíha ŽB desky	-	-	-
omítka	0,015	20	0,30
		$\Sigma g_{ki} =$	1,8

Tab. 4 Skladba S5 – balkón

vrstva	rozměr/m	γ/kNm^{-3}	g_{ki}/kNm^{-2}
betonová mazanina spádovaná	0,040÷0,060	24	1,44
modifikovaný A.P.	-	-	0,05
vlastní tíha ŽB desky	-	-	-
omítka	0,015	20	0,30
		$\Sigma g_{ki} =$	1,8

Tab. 5 S6 – podlaha v patře

vrstva	rozměr/m	γ/kNm^{-3}	g_{ki}/kNm^{-2}
keramická dlažba ⁱ	0,012	22	0,26
lepící tmel ⁱ	0,008	20	0,16
betonová mazanina	0,060	24	1,44
kamenná vlna	0,070	2	0,14
vlastní tíha ŽB desky	-	-	-
omítka	0,015	20	0,30
		$\Sigma g_{ki} =$	2,3

ⁱLehčí varianty nášlapné vrstvy jsou zanedbány.

Liniová

Hotelové pokoje jsou odděleny zděnými *akustickými stěnami* Porotherm 25 AKU SYM. Výška stěny: 2,8 m mimo průvlaky, 2,5 m v místě průvlaků. Plošná hmotnost stěny včetně omítek: 313 kgm⁻².

$$g_k = 3,13 \cdot 2,8 = 8,8 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \text{ mimo průvlaky}$$

$$g_k = 3,13 \cdot 2,5 = 7,8 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \text{ v místě průvlaků}$$

Obvodový plášť je kontaktně zateplen tepelnou izolací tl. 160 mm (tíhu EPS zanedbám) a je vyzděn z Porotherm 24. Výška stěny: 2,8 m mimo průvlaky, 2,6 m v místě průvlaků (5.NP). Plošná hmotnost stěny včetně omítek: 275 kgm⁻².

$$g_k = 2,75 \cdot 2,8 = 7,7 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \text{ mimo průvlaky}$$

$$g_k = 2,75 \cdot 2,6 = 7,2 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \text{ v místě průvlaků (5.NP)}$$

$$g_k = 2,75 \cdot 3,2 = 8,8 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \text{ mimo průvlaky (5.NP)}$$

Okenní výplň v obvodové stěně včetně rámu a podkladního bloku ODHAD: $g_k = 1,5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$

Ostatní *dělicí příčky* objektu jsou zděné tl. 100 mm z Porotherm 8, plošná hmotnost příčky včetně omítek 120 kgm⁻² a 150 mm z Porotherm 14, plošná hmotnost příčky včetně omítek 140 kgm⁻². Světlá výška hotelového pokoje 2,8 m, světlá výška v apartmánu 3,2 m.

$$g_k = 1,2 \cdot 2,8 = 3,4 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \text{ pro tl. 100 mm výšky 2,8 m}$$

$$g_k = 1,4 \cdot 2,8 = 3,9 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \text{ pro tl. 150 mm výšky 2,8 m}$$

$$g_k = 1,2 \cdot 3,2 = 3,8 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \text{ pro tl. 100 mm (5.NP)}$$

Tyčové zábradlí ODHAD: $g_k = 1,0 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$

2.2 Proměnná zatížení

2.2.1 Užitná zatížení

Tab. 6 Velikost užitého zatížení dle účelu místnosti

popis	kategorie	q_{ki}/kNm^{-2}
střecha nepřístupná	H ⁱ	0,75
střešní terasa (zatížení dle kat. A) ⁱ	I	1,5
stropní konstrukce, lodžie	A	1,5
balkóny		3,0
komunikační prostory hotelové části včetně schodiště	C3	5,0

krouticí moment od vodorovného zatížení $q_k^A = 0,5 \text{ kNm}^{-1}$ na zábradlí výšky 1 m $\Rightarrow M_k = 0,5 \text{ kNm}$

2.2.2 Zatížení sněhem

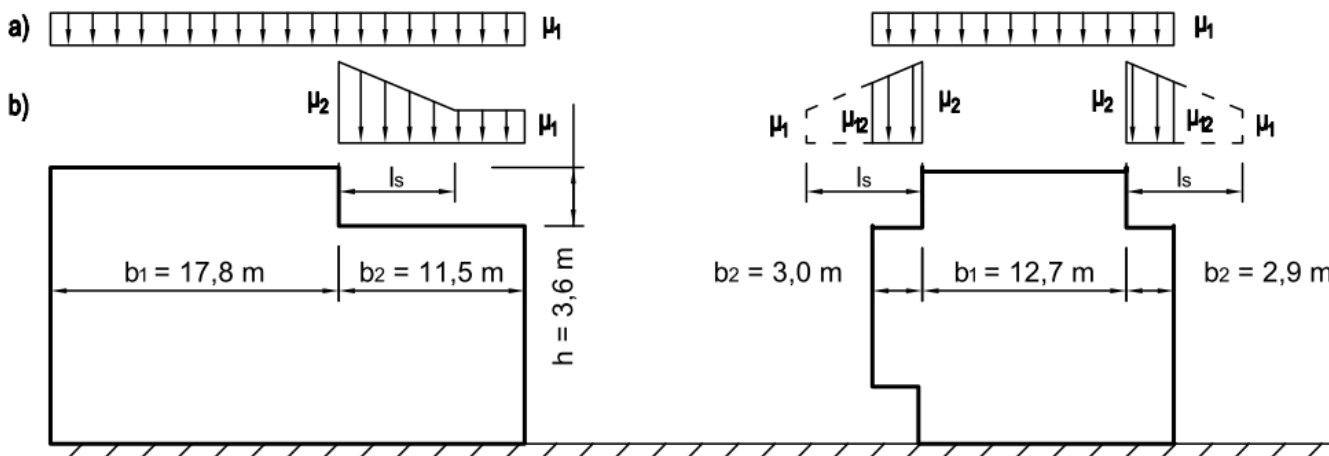
sněhová oblast II; $s_k = 1,0 \text{ kPa}$

nadmořská výška staveniště 215,6 m n. m.

plochá střecha $\alpha \leq 1,5^\circ < 30^\circ$ (speciální případ pultové střechy)

tepelná prostupnost střechy $< 1 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$

Obr. 10 Schéma zatížení sněhem



a) rovnoměrné zatížení nenavátým sněhem

$$s_1 = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kNm}^{-2}$$

b) nerovnoměrné zatížení návějí na terase

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w \text{ kde } \mu_s = 0 \text{ (horní střecha je plochá } \alpha < 15^\circ \text{)}$$

$$b1) \quad b_2 = 11,5 \text{ m} > l_s = 2h = 2 \cdot 3,6 = 7,2 \text{ m}; 5 \text{ m} < l_s < 15 \text{ m}$$

ⁱUžitné zatížení na terase bude při modelování zařazeno do kategorie H, která má dle národního dodatku EC0 stejnou hodnotu ψ_0 jako kategorie A, aby se zabránilo současnému působení užitných zatížení a zatížení sněhem a větrem.

$$0,8 < \mu_w = \frac{(b_1 + b_2)}{2h} = \frac{(17,8 + 11,5)}{2 \cdot 3,6} = 4,1 \leq \mu_{w,max}^{II oblast} = 2,0$$

$$s_2 = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,0 \text{ kNm}^{-2}$$

$$b2) \quad b_2 = 3,0 \text{ m} < l_s = 7,2 \text{ m}$$

$$0,8 < \mu_w = \frac{(b_1 + b_2)}{2h} = \frac{(12,7 + 3)}{7,2} = 2,2 \leq \mu_{w,max}^{II oblast} = 2,0$$

$$s_2 = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,0 \text{ kNm}^{-2}$$

tvarový součinitel na vnějším okraji nižší střechy stanovený interpolací

$$\mu_{12} = \mu_2 - \left(\frac{\mu_2 - \mu_1}{l_s} \cdot b_2 \right) = 2,0 - \left(\frac{2,0 - 0,8}{7,2} \cdot 3 \right) = 1,5$$

$$s_{12} = \mu_{12} \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,5 \text{ kNm}^{-2}$$

2.2.3 Zatížení větrem

Objekt se nachází na pozemku situovaném na jižním svahu v řadové zástavbě v první ulici nad brněnským výstavištěmⁱ, předpokládá se působení tlaku větru na povrch budovy z ulice a ze dvora.

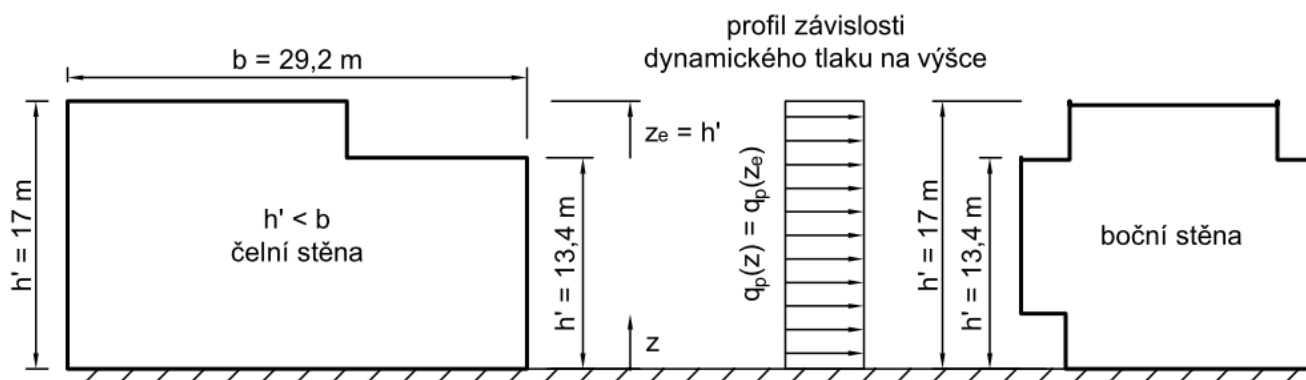
větrná oblast II, $v_{b,0} = 25,0 \text{ ms}^{-1}$

kategorie terénu III

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25,0 = 25,0 \text{ ms}^{-1}$$

pokud $\max h' = (h + h_p) = 17 \text{ m} < b = 29 \text{ m}$, pak je referenční výška $z_e = h$

Obr. 11 Schéma zatížení větrem



$$v_m(z_e) = c_r(z_e) \cdot c_o(z_e) \cdot v_b = 0,87 \cdot 1,0 \cdot 25,0 \doteq 21,75 \text{ ms}^{-1}$$

kde pro $z_{min} = 5 \text{ m} \leq z_e = 17 \text{ m} \leq z_{max} = 200 \text{ m}$ je

$$c_r(z_e) = k_r \cdot \ln \left(\frac{\max(z_{min}; z_e)}{z_0} \right) = 0,215 \cdot \ln \left(\frac{17}{0,3} \right) \doteq 0,87$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} \doteq 0,215$$

ⁱNa pomezí údolí a paty kopce se neočekává zvýšená rychlost větru vlivem orografie, $c_o(z) = 1,0$.

$$I_v(z_e) = \frac{k_I}{c_o(z_e) \cdot \ln\left(\frac{\max(z_{min}; z_e)}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{\max(5; 17)}{0,3}\right)} \doteq 0,248$$

maximální dynamický tlak je po výšce konstantní $q_p(z) = q_p(z_e)$

$$q_p(z_e) = [1 + 7 I_v(z_e)] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2(z_e) = [1 + 7 \cdot 0,248] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 21,75^2$$

$$q_p(z_e) \doteq 809 \text{ Nm}^{-2} \doteq 0,81 \text{ kNm}^{-2}$$

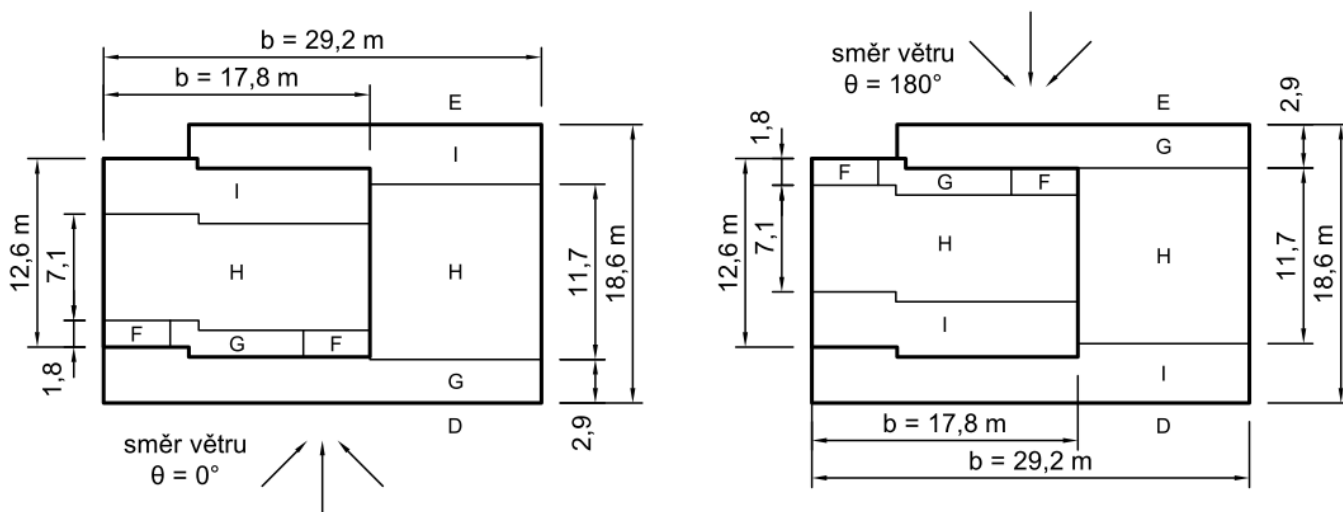
Tab. 7 Interpolace součinitelů vnějšího tlaku $c_{pe,10}$ pro svislé stěny

h'/d	stěna	D (návětrná)	E (závětrná)
1,0		+0,8	-0,5
17,0/18,6 = 0,91		+0,791	-0,481
0,25		+0,7	-0,3

$$w_e^D = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10} = 0,81 \cdot (+0,791) = +0,64 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_e^E = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10} = 0,81 \cdot (-0,481) = -0,39 \text{ kNm}^{-2}$$

Obr. 12 Schéma oblastí součinitelů vnějšího tlaku pro vítr zleva ($\theta = 0^\circ$) a vítr zprava ($\theta = 180^\circ$)



Tab. 8 Součinitelé vnějšího tlaku $c_{pe,10}$ pro ploché střechy $h_p/h < 0,025$

oblast	F	G	H	I
hodnota	-1,6	-1,1	-0,7	$\pm 0,2$

$$w_e^F = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10} = 0,81 \cdot (-1,6) = -1,30 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_e^G = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10} = 0,81 \cdot (-1,1) = -0,89 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_e^H = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10} = 0,81 \cdot (-0,7) = -0,57 \text{ kNm}^{-2}$$

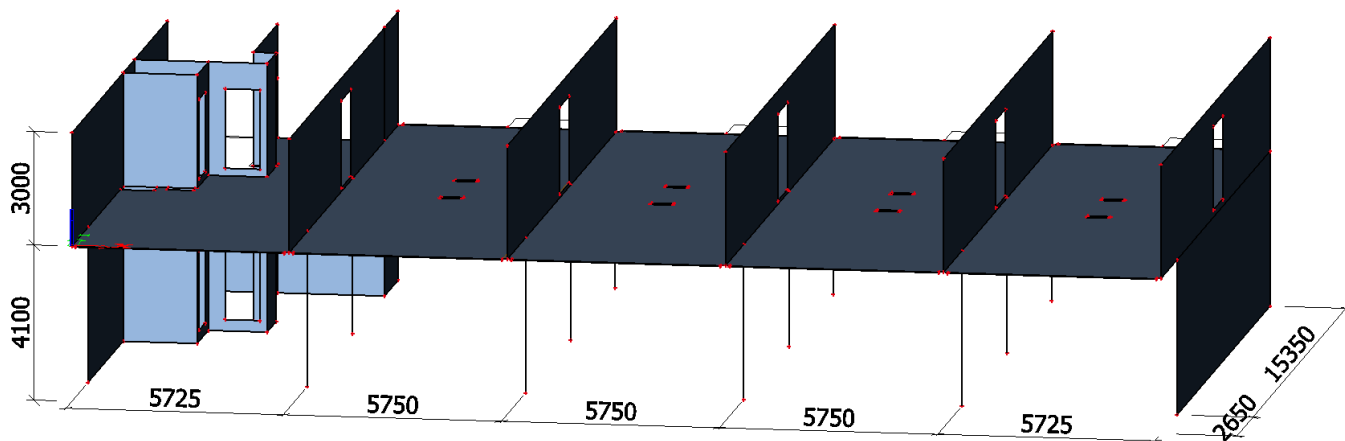
$$w_e^I = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10} = 0,81 \cdot (\pm 0,2) = \pm 0,16 \text{ kNm}^{-2}$$

Vodorovné účinky zatížení budou do základů přenášeny prostřednictvím smykových stěn. Tuhé stropní desky se chovají jako vysoké stěnové nosníky s vazbami v místech štítových stěn vůči příčným vodorovným posunům. Tuhost sloupů je v poměru k tuhosti štítových stěn malá, lze zanedbat.

Účinky zatížení na vybrané prvky budovy budou vyšetřovány na samostatných zjednodušených modelech stropní desky a rámu.

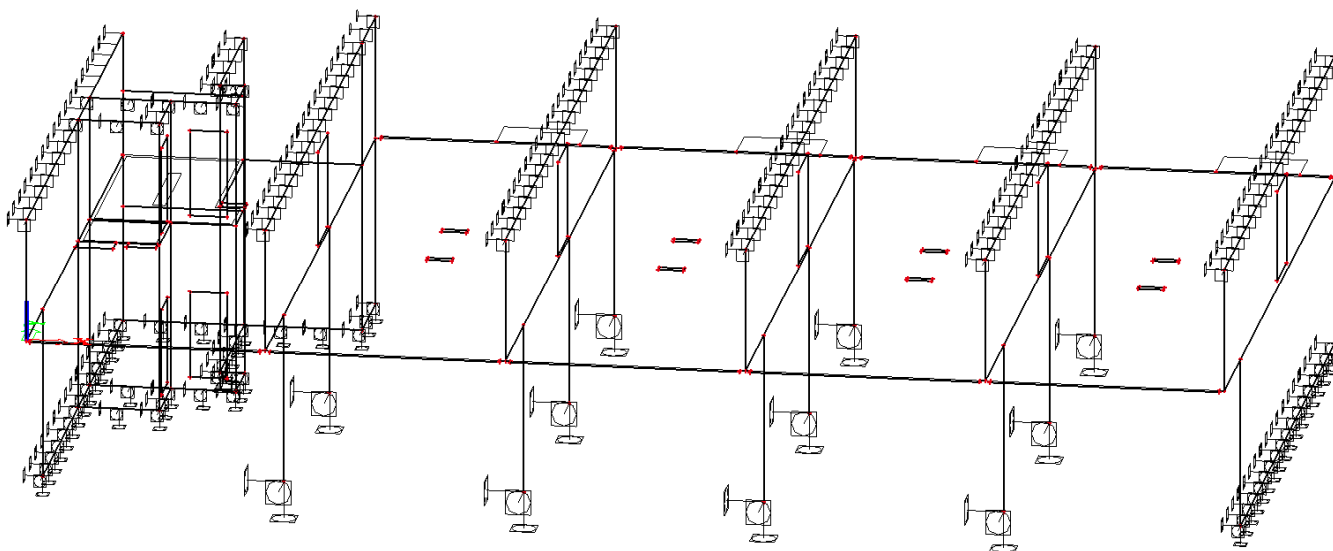
2.3 Lokální model stropní desky nad 1.NP

Obr. 13 Model konstrukce v MKP programu SCIA engineer

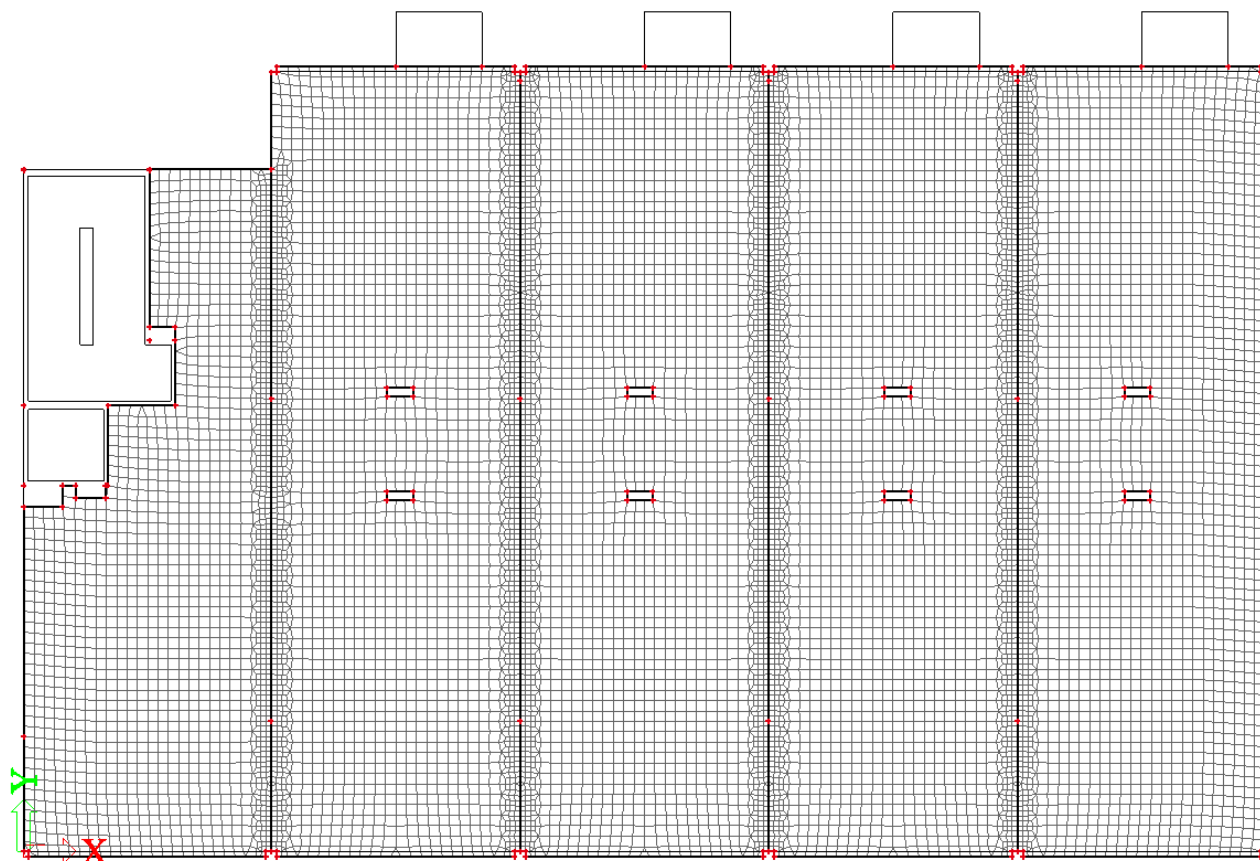


- stropní deska tloušťky 0,2 m
- obdélníkové sloupy o rozměru 0,7×0,35 m u převislého konce, 0,5×0,35 m uprostřed, 0,4×0,35 m na konci s balkony
- stěnové nosníky tloušťky 0,25 m výšky 3 m od střednice desky
- obvodové stěny, stěny jádra tloušťky 0,2 m výšky 3 m nahoru a 4,1 m dolů od střednice desky

Obr. 14 Schémata podepření konstrukce



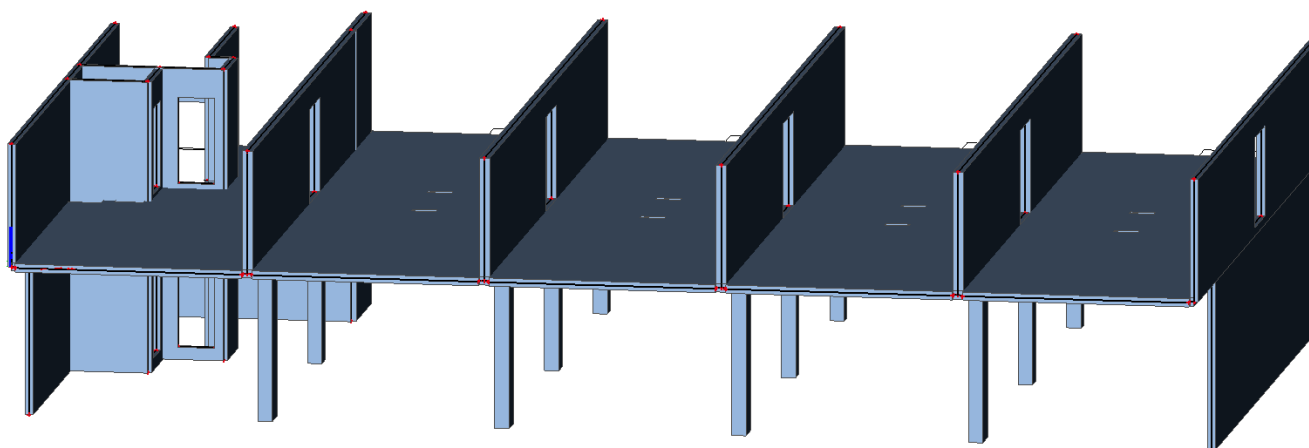
Obr. 15 Schéma konstrukce s vygenerovanou sítí konečných prvků (zobrazena rovina XY)



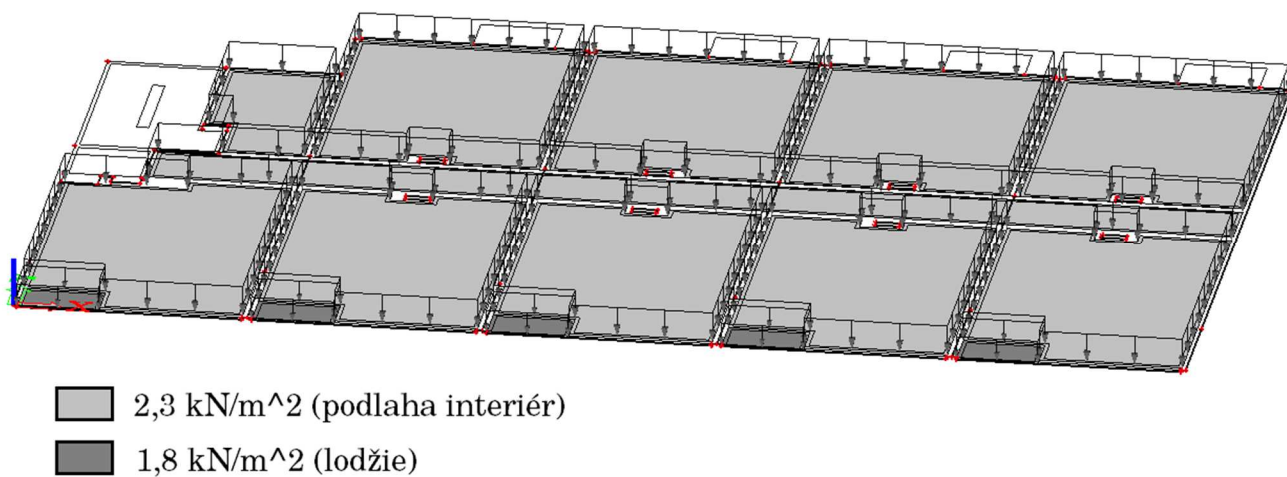
velikost prvku sítě 0,24 m, v místě napojení stěnového nosníku na desku 1.NP zahuštění na 0,12 m

2.3.1 Zatížení modelu desky

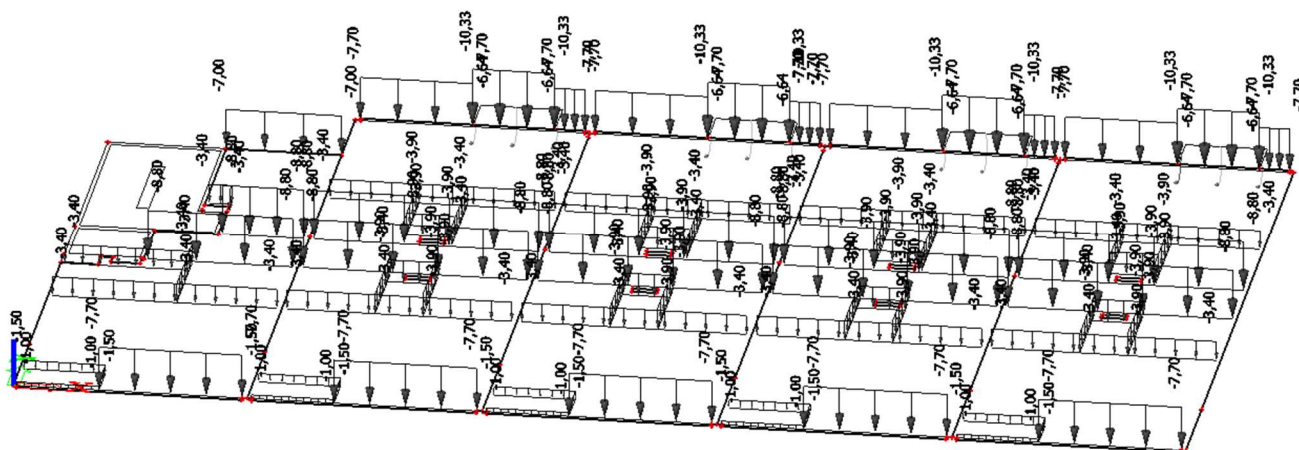
Obr. 16 DZS1 stálé: vlastní tíha (generována výpočetním programem z modelu konstrukce pro $\gamma = 25 \text{ kNm}^{-3}$)



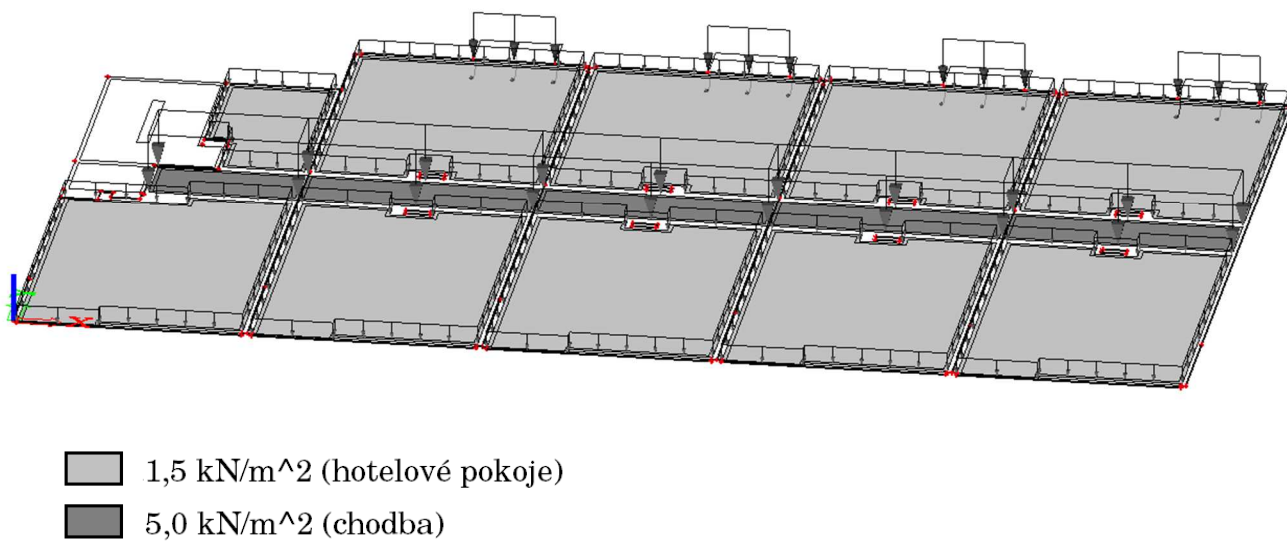
Obr. 17 DZS2 stálé: ostatní stálé – plošné zatížení



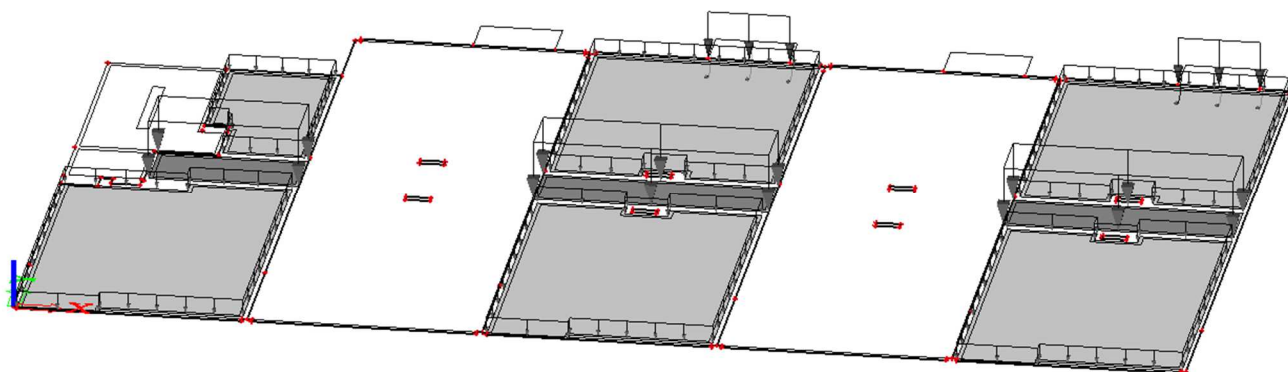
Obr. 18 DZS3 stálé: ostatní stálé – liniové zatížení



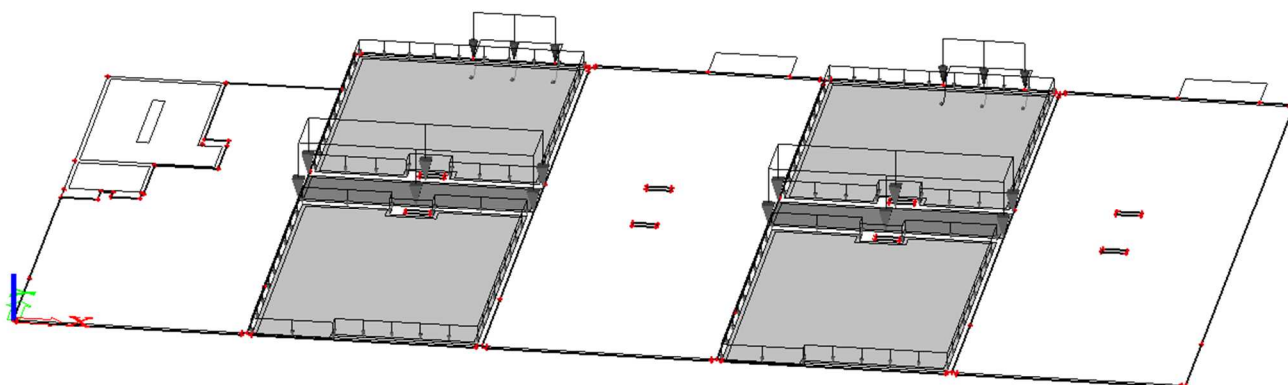
Obr. 19 DZS4 užitné: plné



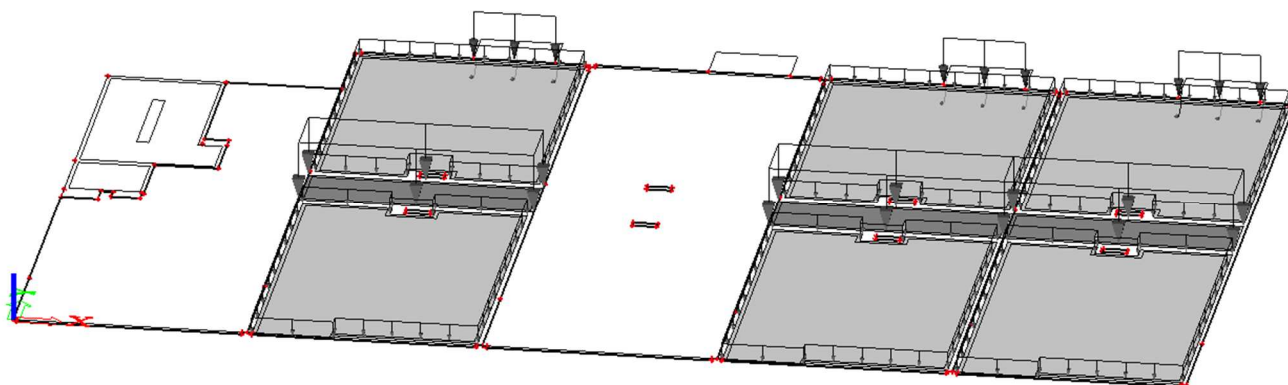
Obr. 20 DZS5 užité: pásy I



Obr. 21 DZS6 užité: pásy II

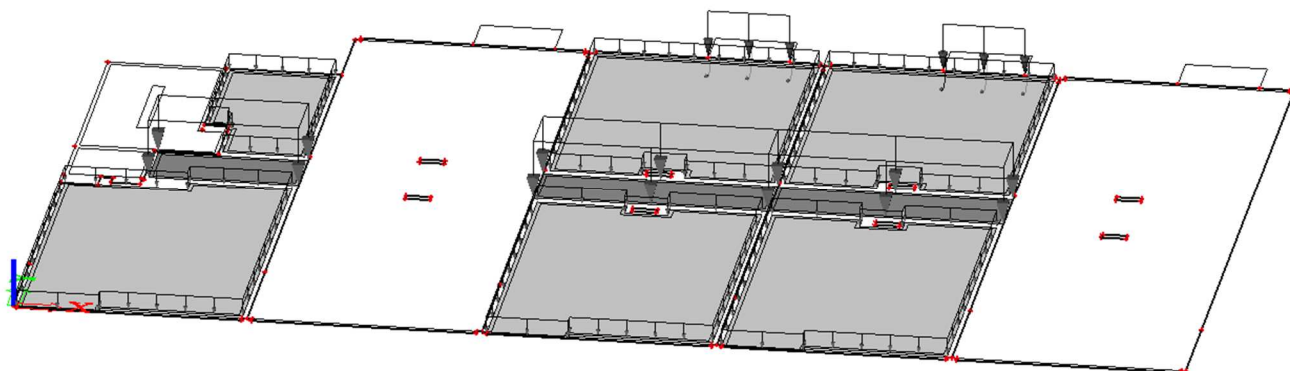


Obr. 22 DZS7 užité: pásy dvojice I

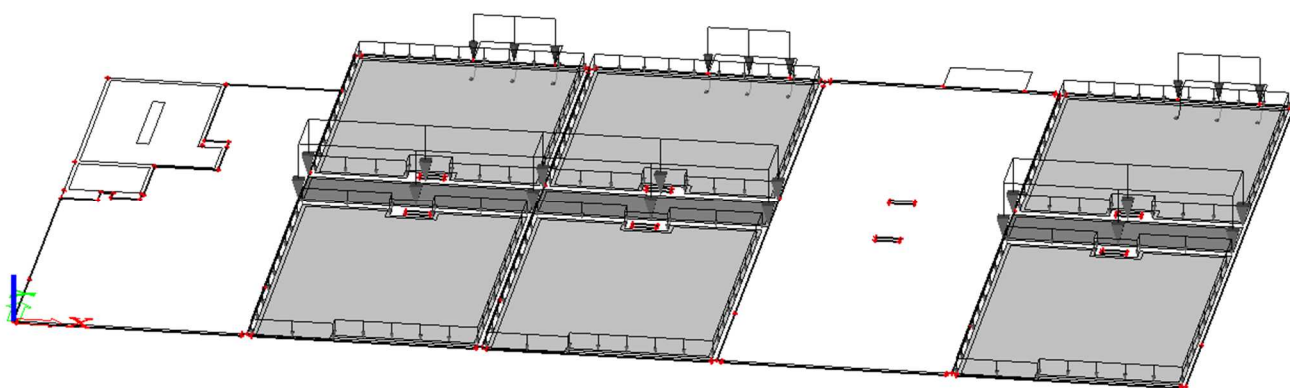


- 1,5 kN/m² (hotelové pokoje)
- 5,0 kN/m² (chodba)

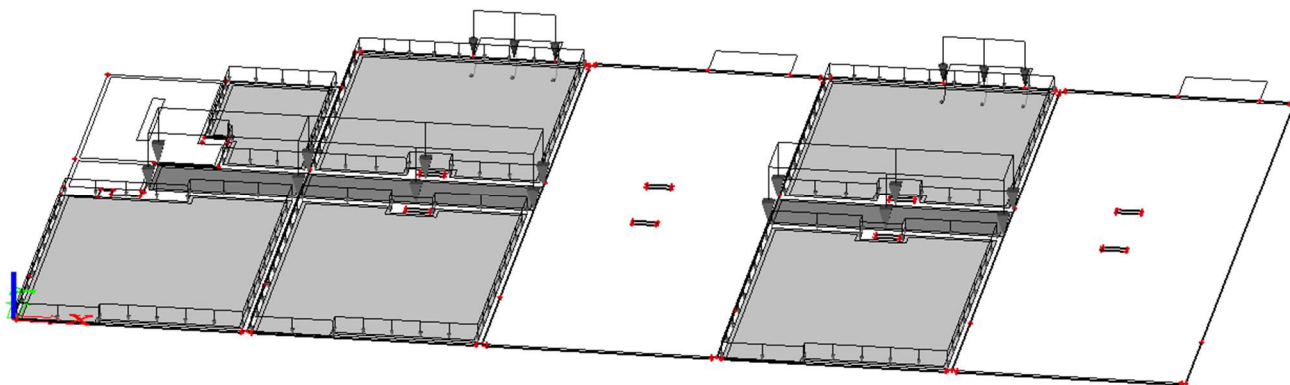
Obr. 23 DZS8 užité: pásy dvojice II



Obr. 24 DZS9 užité: pásy dvojice III

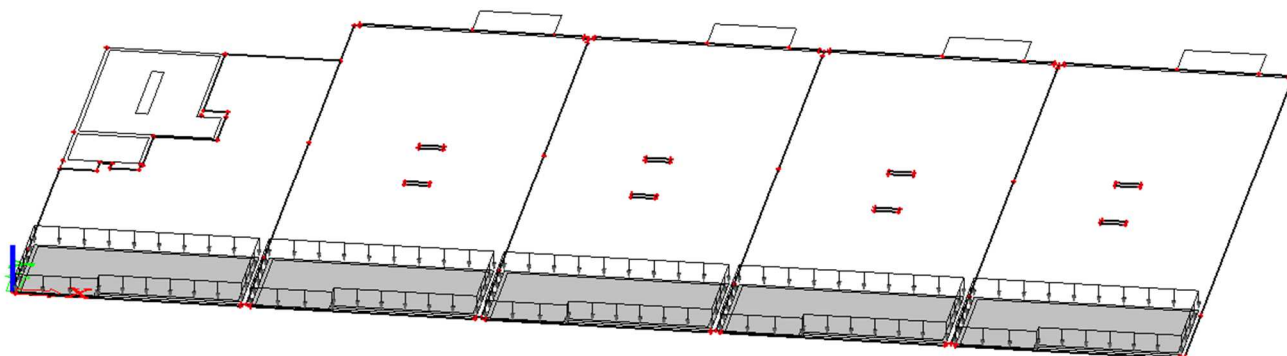


Obr. 25 DZS10 užité: pásy dvojice IV

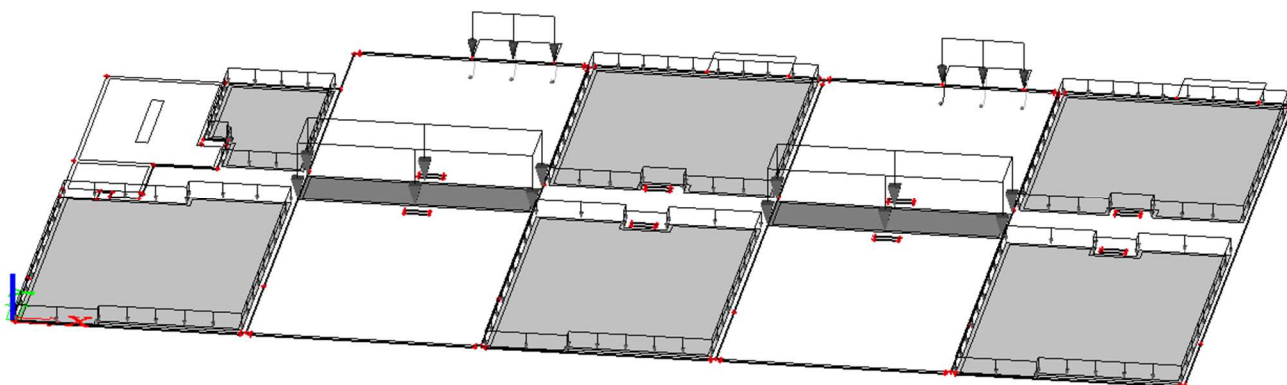


- 1,5 kN/m² (hotelové pokoje)
- 5,0 kN/m² (chodba)

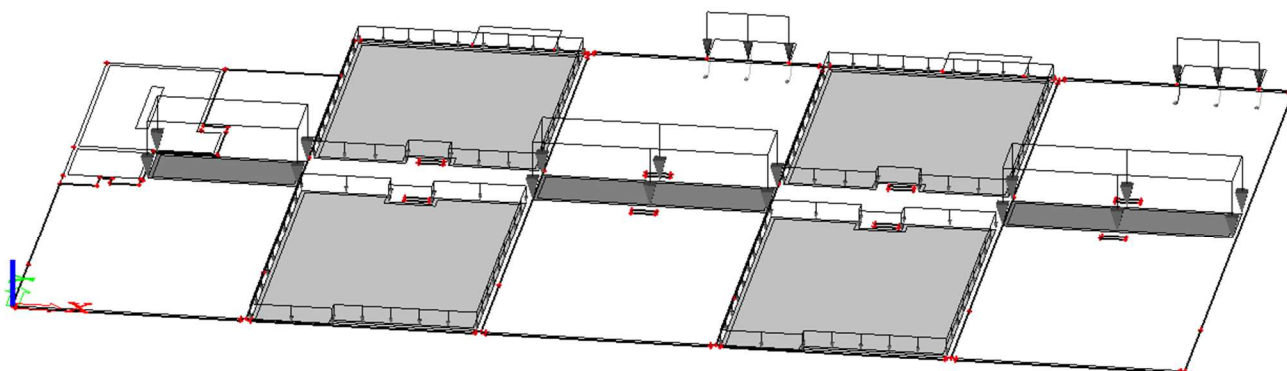
Obr. 26 DZS11 užité: pás konzola



Obr. 27 DZS12 užité: šach I



Obr. 28 DZS13 užité: šach II



- 1,5 kN/m² (hotelové pokoje)
- 5,0 kN/m² (chodba)

Skupiny zatížení

Jednotlivé zatěžovací stavy jsou rozděleny do skupin, podle kterých se následně tvoří kombinace.

1. stálé DZS1až3
2. užitné DZS4až13: vztah mezi jednotlivými členy skupiny je nastaven na VÝBĚROVÝ, to znamená, že žádné dva zatěžovací stavy ze skupiny tohoto typu se nikdy neobjeví ve stejné kombinaci.

2.3.2 Kombinace

Programem SCIA engineer bude automaticky generována kombinace pro MSÚ typ (STR/GEO) soubor B dle rovnic 6.10a & 6.10b dle [1].

Schéma vytvoření kombinací:

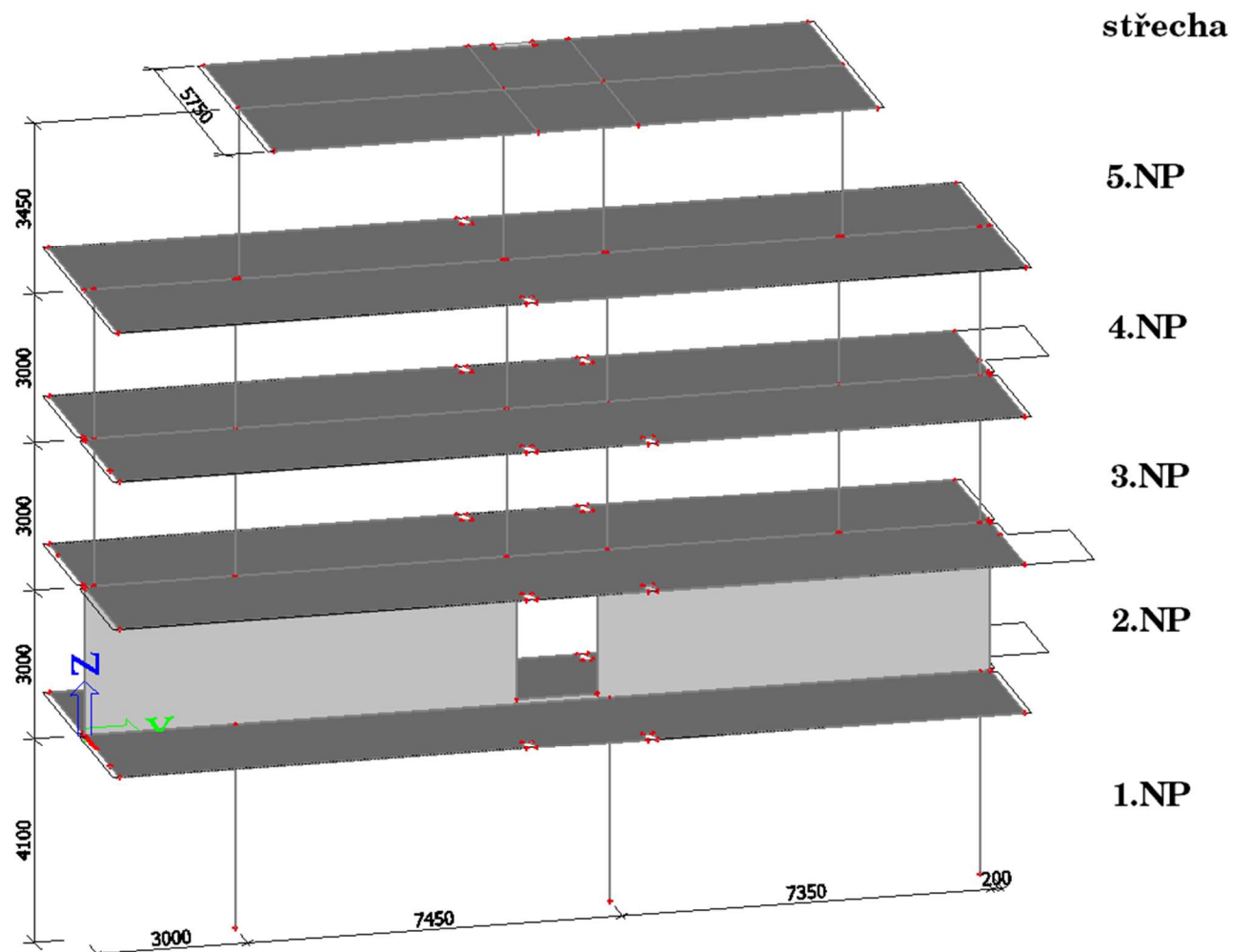
$$\sum_{j=1}^3 \gamma_{G,j} \cdot X_j + \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot X_i \dots kde i = 4,5,6 \dots 13 \quad (6.10a)$$

$$\sum_{j=1}^3 \gamma_{G,j} \cdot \xi_j \cdot X_j + \gamma_{Q,i} \cdot X_i \dots kde i = 4,5,6 \dots 13 \quad (6.10b)$$

...kde X nahrazuje charakteristickou hodnotu kombinované veličiny daného zatěžovacího stavu.

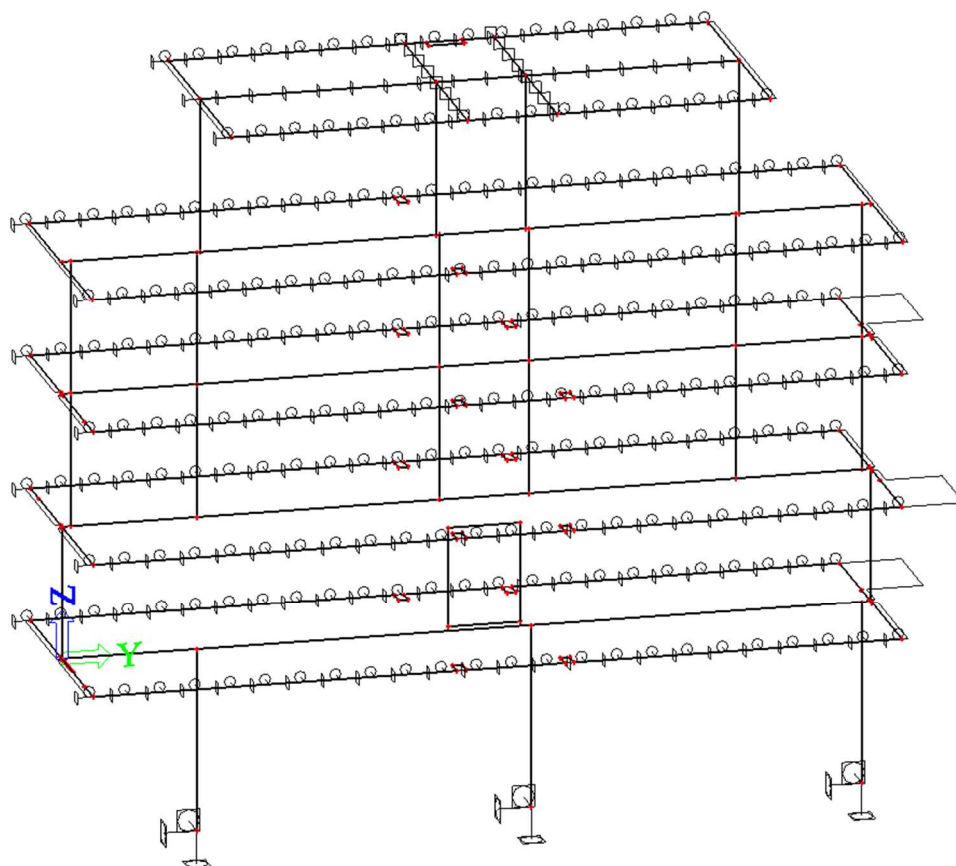
2.4 Lokální model rámu ve sloupové řadě 3

Obr. 29 Model konstrukce v MKP programu SCIA engineer

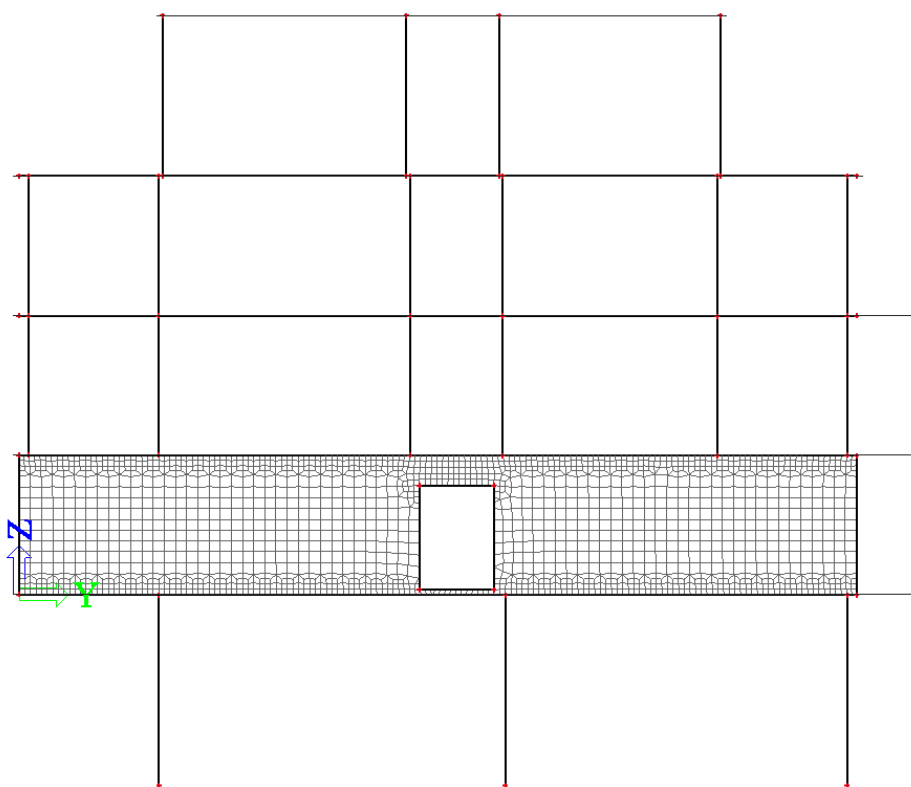


- stropní desky nad 1. až 4.NP tloušťky 0,2 m, tloušťka desky 0,3 m nad 5.NP
- v 1.NP obdélníkové sloupy o rozměru 0,7×0,35 m u převislého konce, 0,5×0,35 m uprostřed, 0,4×0,35 m na konci s balkony
- v 2.NP stěnový nosník tloušťky 0,25 m, otvor v nosníku šířky 1,6 m výšky 2,25 m ve vzdálenosti 0,1 m nad střednicí desky nad 1.NP
- v 3. a 4.NP obdélníkové sloupy 0,4×0,25 m, v 5.NP čtvercové sloupy o straně 0,25 m
- mezi sloupy v 3. a 4.NP jsou ke stropní desce připojeny průvlaky šířky 0,25 m, výšky 0,3 m vyčnívající z dolní hrany desky
- na vnějších hranách desky nad 5.NP jsou k desce připojeny ztužující žebra šířky 0,2 m, výšky 0,5 m vyčnívající z horní hrany desky
- na vnějších hranách desky nad 5.NP jsou k desce připojeny ztužující žebra: šířky 0,2 m, výšky 0,6 m vyčnívající z horní hrany desky a šířky 0,25 m, výšky 0,6 m vyčnívající z dolní hrany desky

Obr. 30 Schémata podepření konstrukce



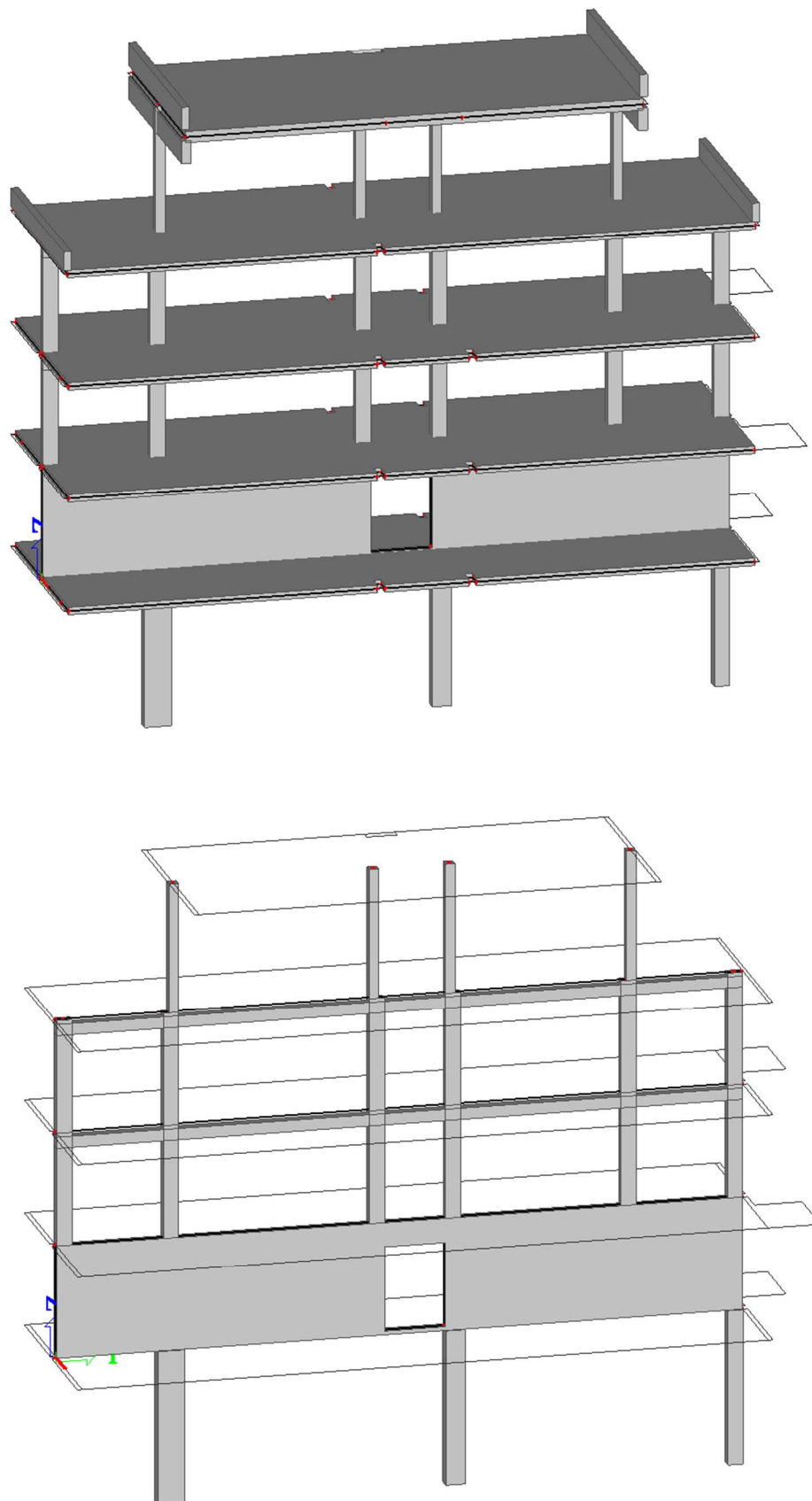
Obr. 31 Schéma konstrukce s vygenerovanou sítí konečných prvků (zobrazena rovina YZ)



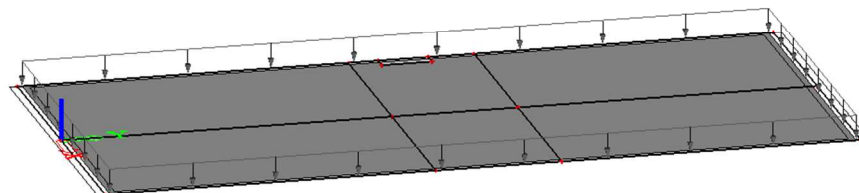
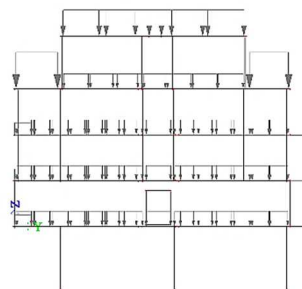
velikost prvku sítě 0,24 m, v místě napojení stěnového nosníku na desky, u nadpraží otvoru zahuštění na 0,12 m

2.4.1 Zatížení modelu rámu

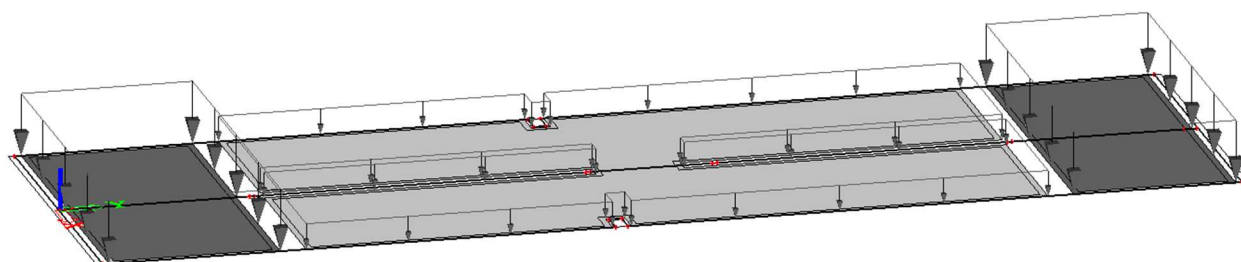
Obr. 32 RZS1 stálé: vlastní tíha (generována výpočetním programem z modelu konstrukce pro $\gamma = 25 \text{ kNm}^{-3}$)



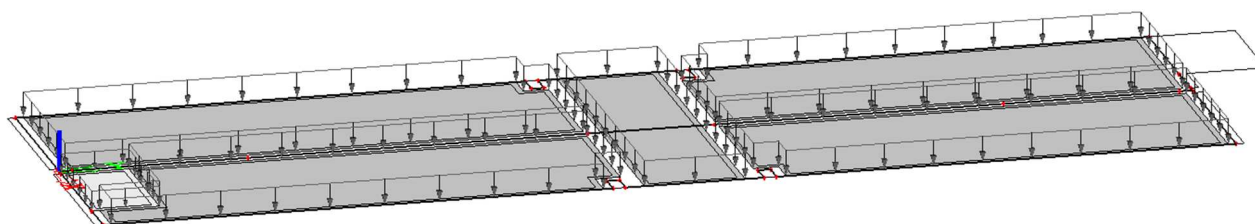
Obr. 33 RZS2 stálé: ostatní stálé: plošné zatížení
střecha



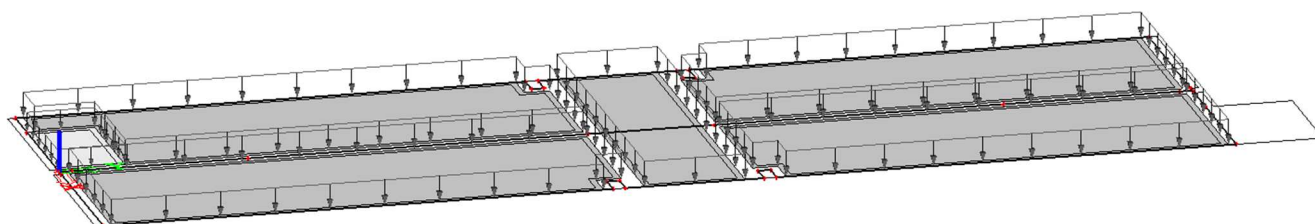
5.NP



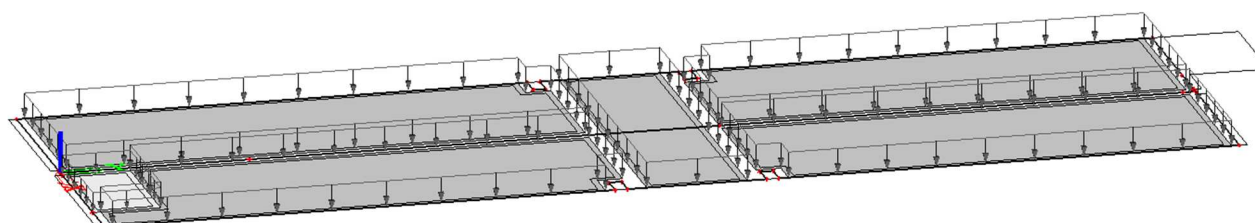
4.NP







3.NP

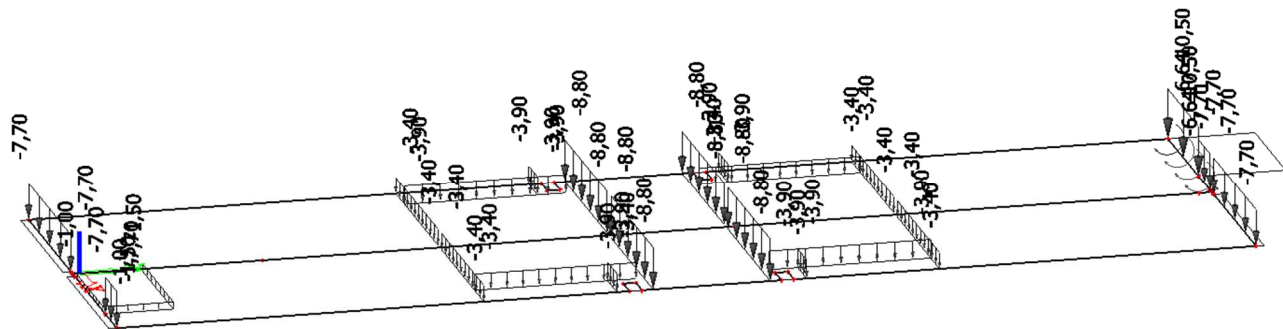


2.NP



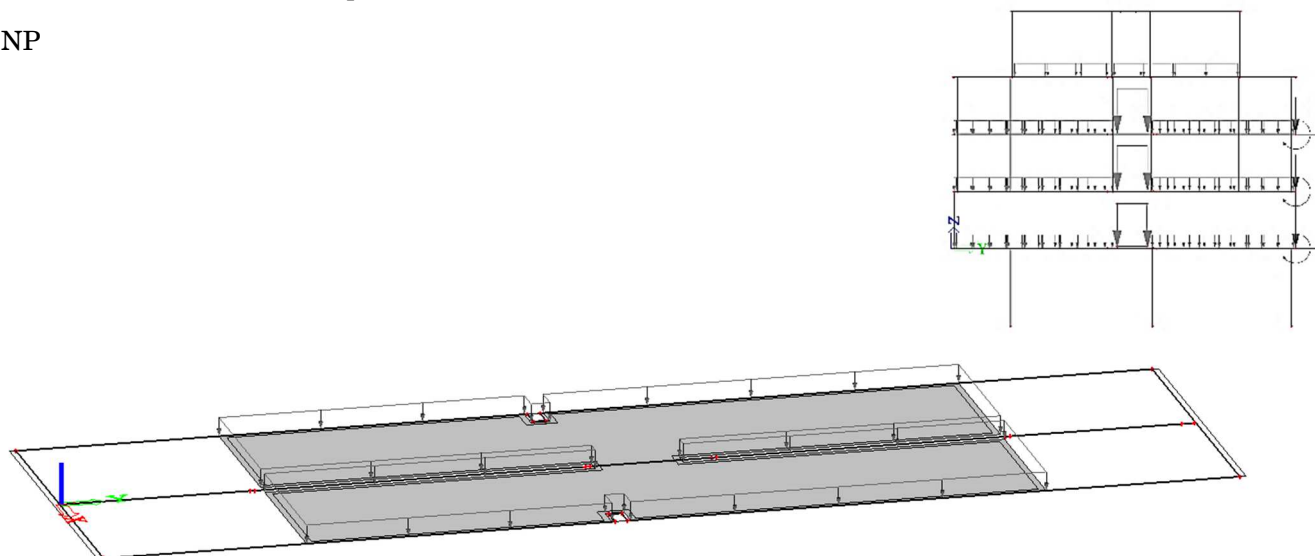
 4,0 kN/m ² (střecha)	 2,3 kN/m ² (podlaha interiér)
 5,6 kN/m ² (terasa)	 1,8 kN/m ² (lodžie)

5.NP

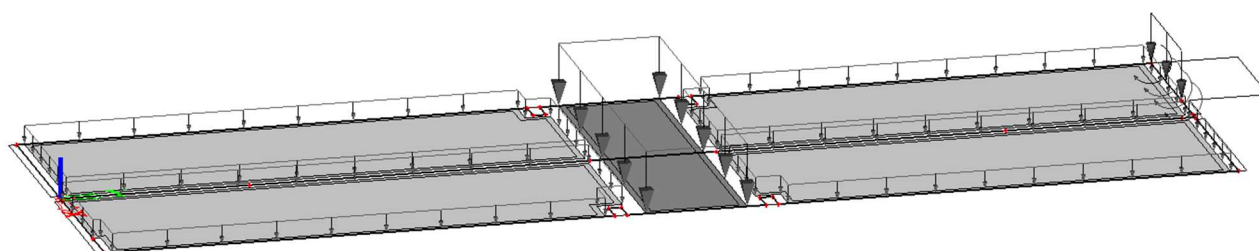


Obr. 35 RZS4 užiténé interiér: plné

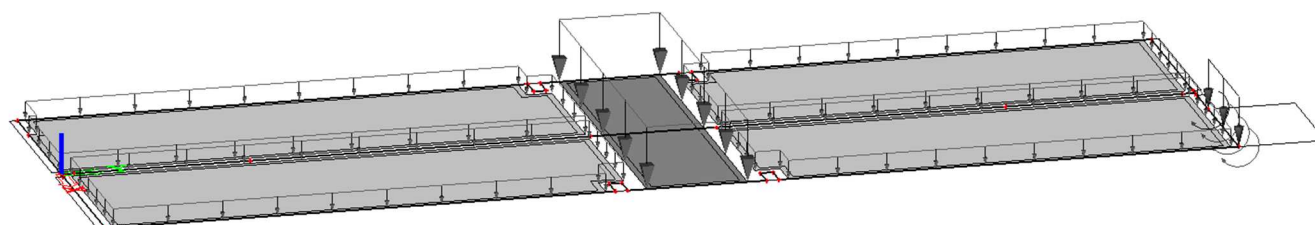
5.NP



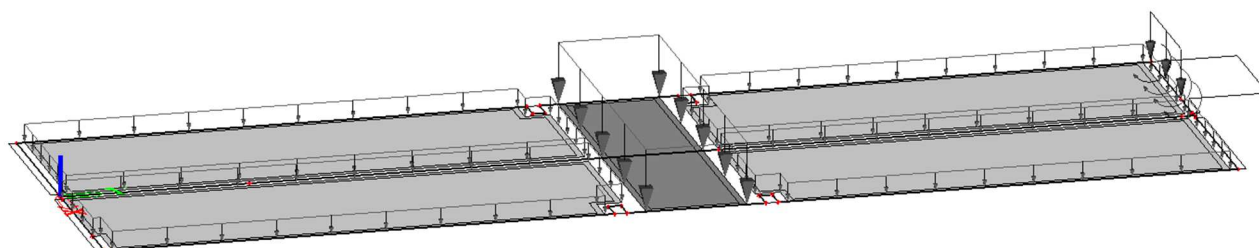
4.NP



3.NP



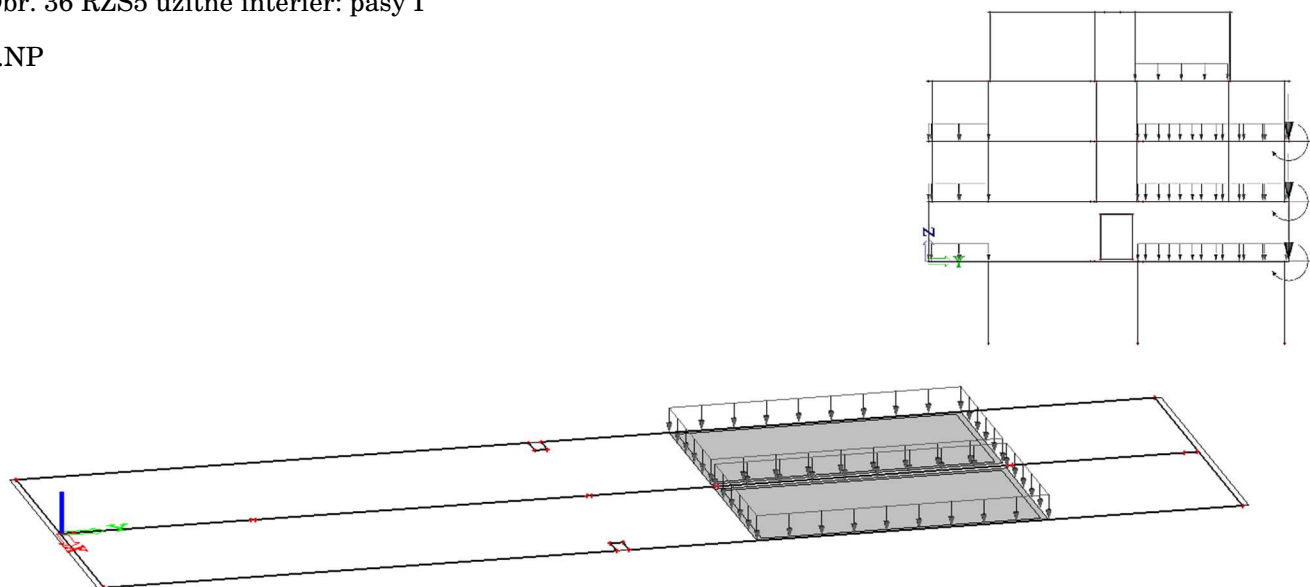
2.NP



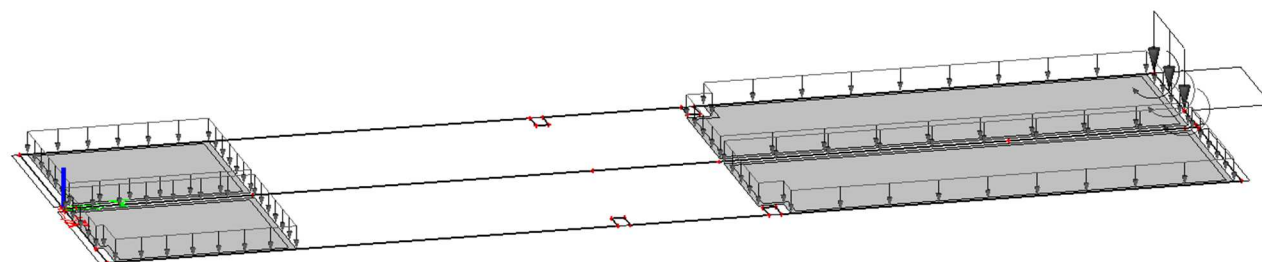
- 1,5 kN/m² (hotelové pokoje, apartmán, terasa)
- 5,0 kN/m² (chodba)

Obr. 36 RZS5 užitého interiéru: pásy I

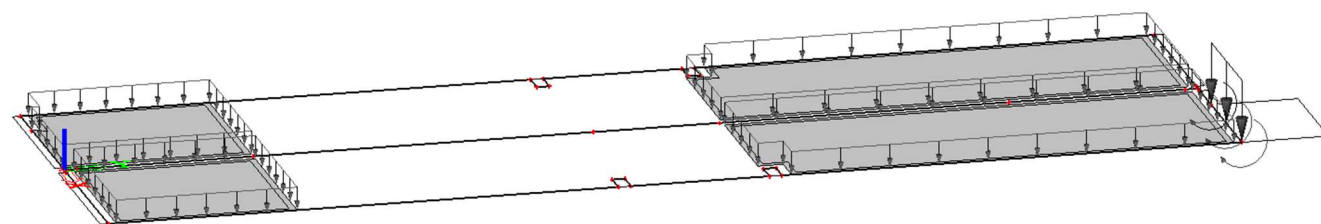
5.NP



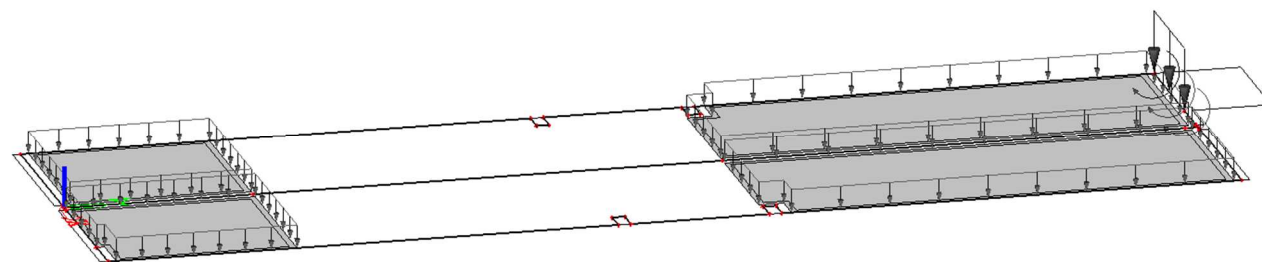
4.NP



3.NP



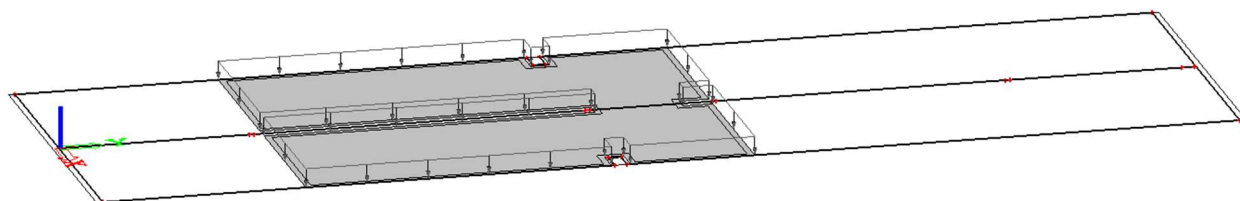
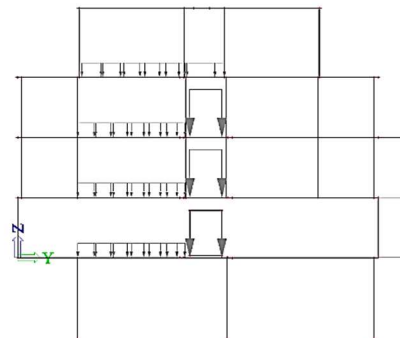
2.NP



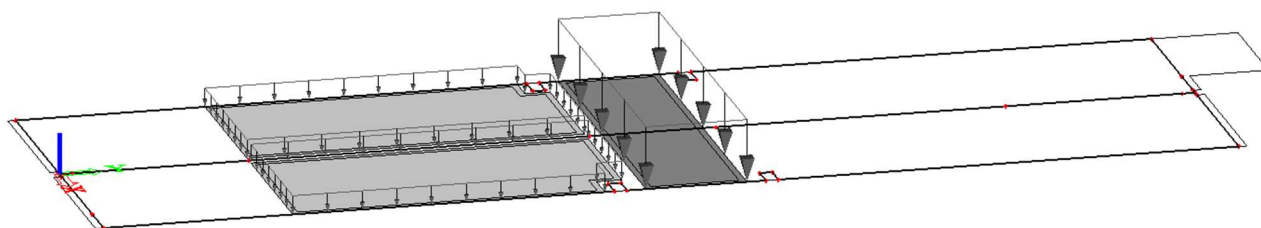
- 1,5 kN/m² (hotelové pokoje, apartmán, terasa)
- 5,0 kN/m² (chodba)

Obr. 37 RZS6 užiténé interiér: pásy II

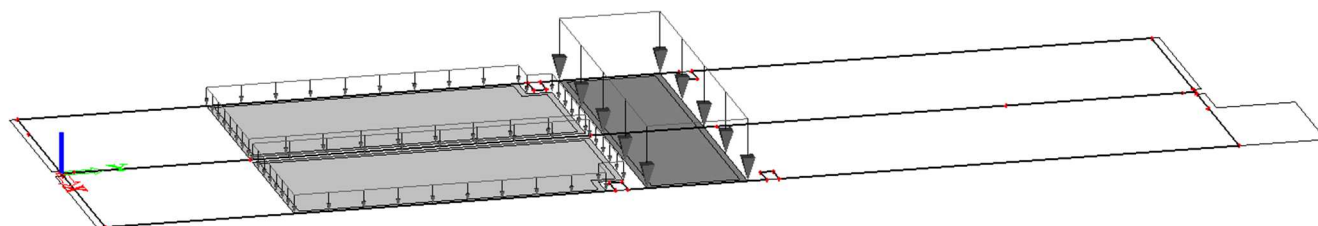
5.NP



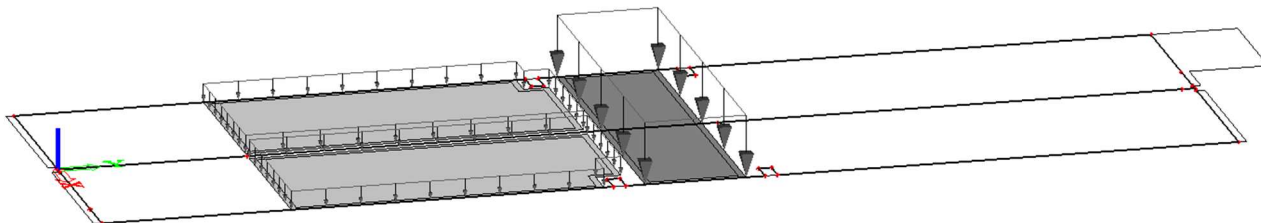
4.NP



3.NP



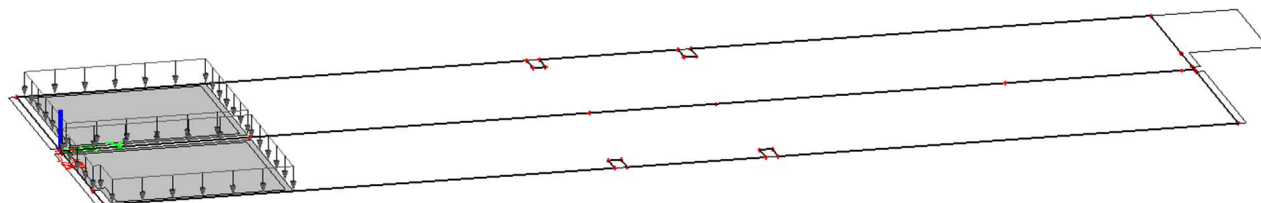
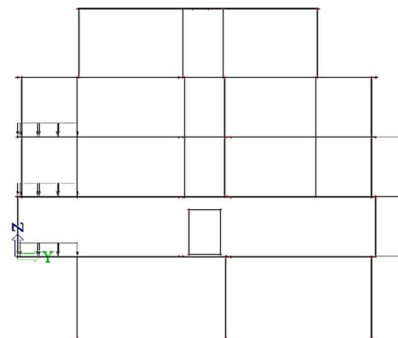
2.NP



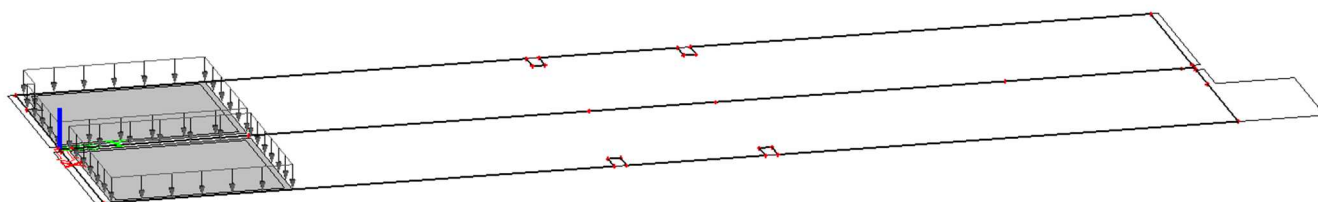
- 1,5 kN/m² (hotelové pokoje, apartmán, terasa)
- 5,0 kN/m² (chodba)

Obr. 38 RZS7 užitné interié: pás konzola

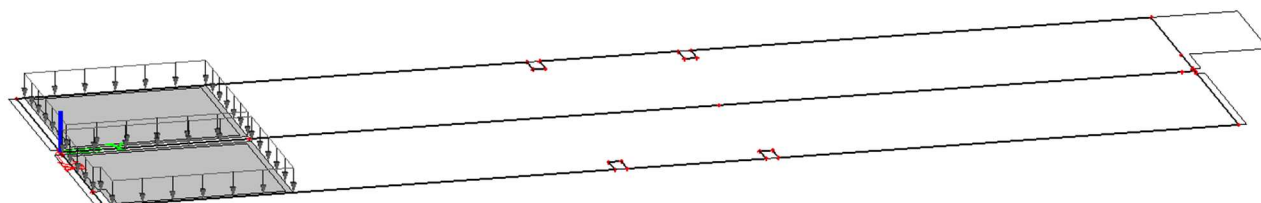
4.NP



3.NP



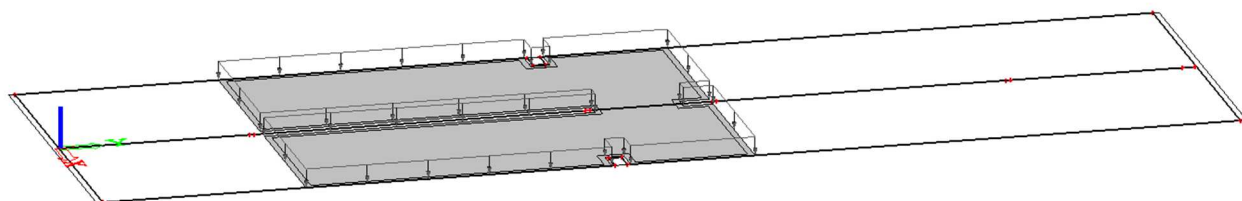
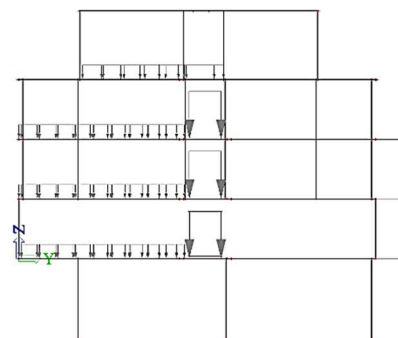
2.NP



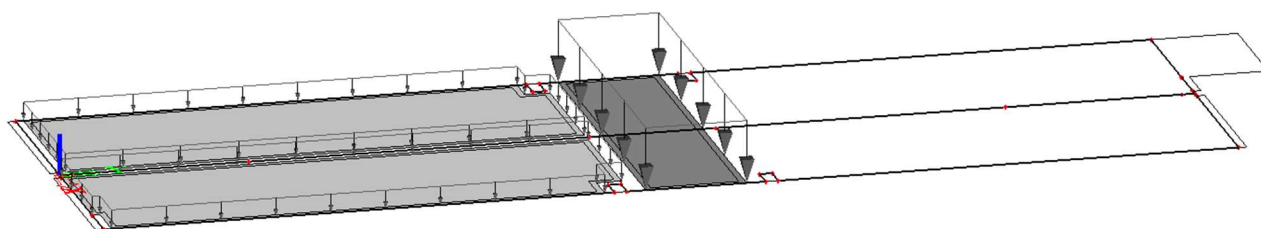
- 1,5 kN/m² (hotelové pokoje, apartmán, terasa)
- 5,0 kN/m² (chodba)

Obr. 39 RZS8 užiténé interiér: pásy dvojice I

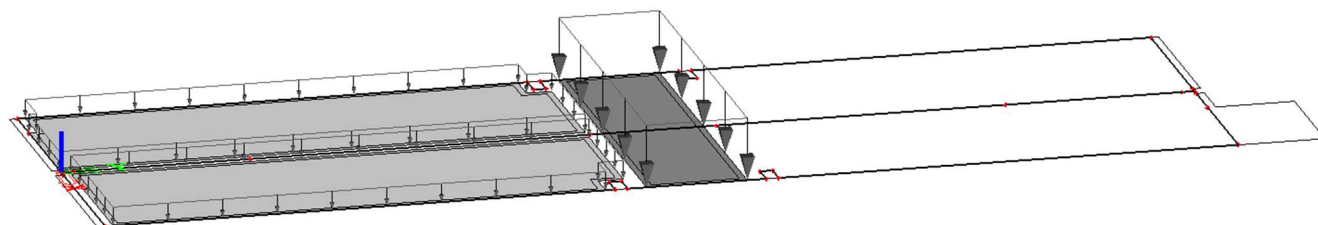
5.NP



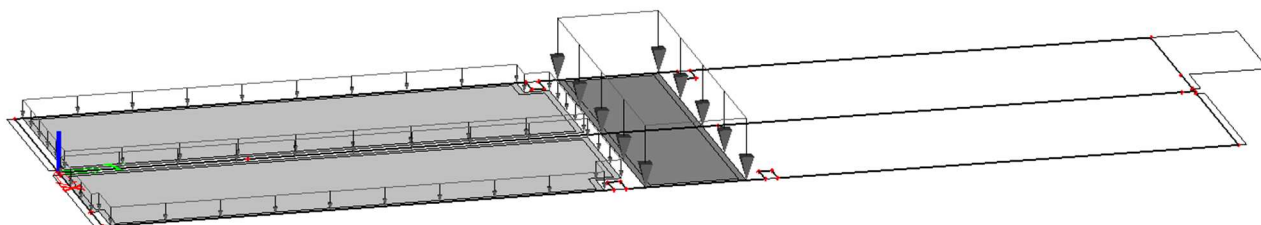
4.NP



3.NP



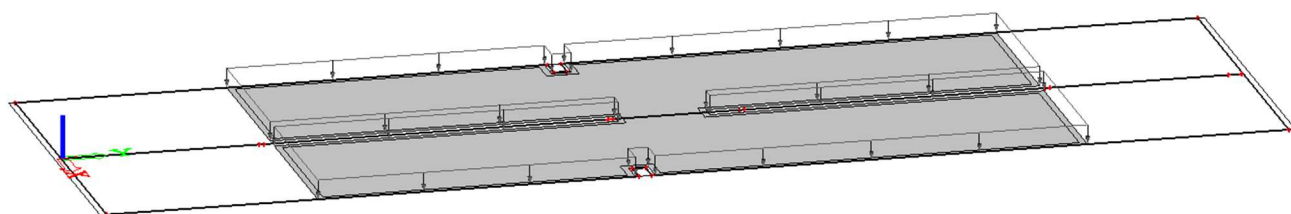
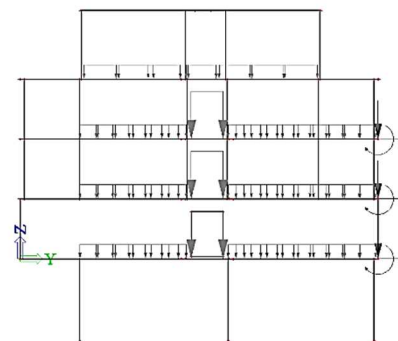
2.NP



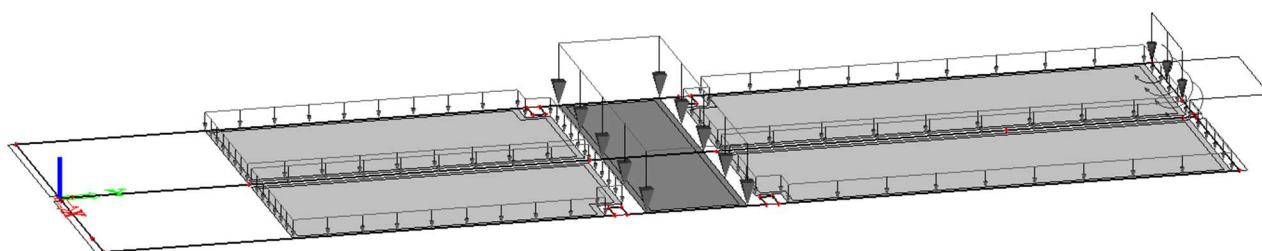
- 1,5 kN/m² (hotelové pokoje, apartmán, terasa)
- 5,0 kN/m² (chodba)

Obr. 40 RZS9 užitého interiéru: pásy dvojice II

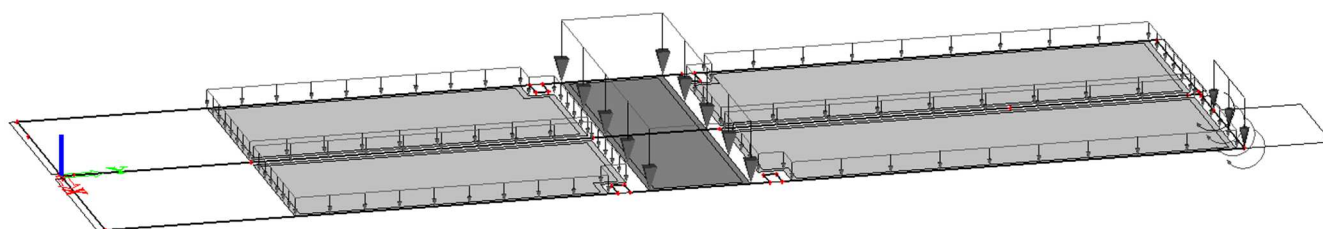
5.NP



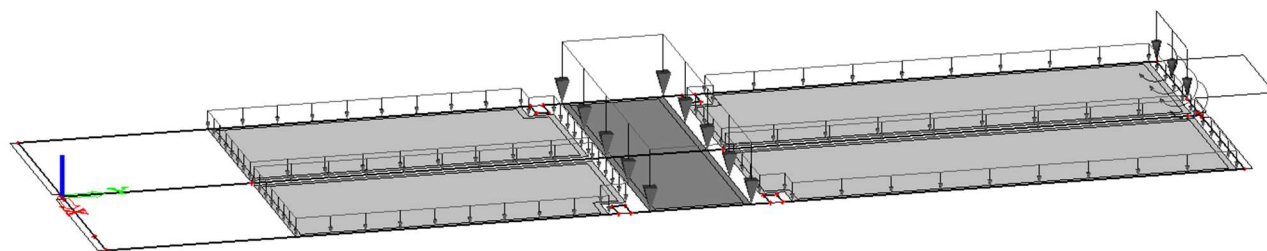
4.NP



3.NP



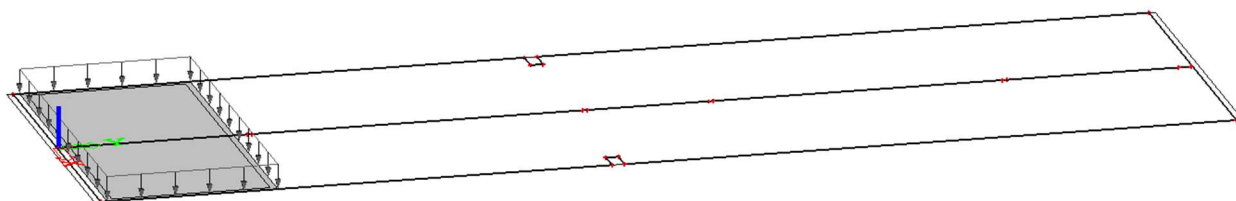
2.NP



- 1,5 kN/m² (hotelové pokoje, apartmán, terasa)
- 5,0 kN/m² (chodba)

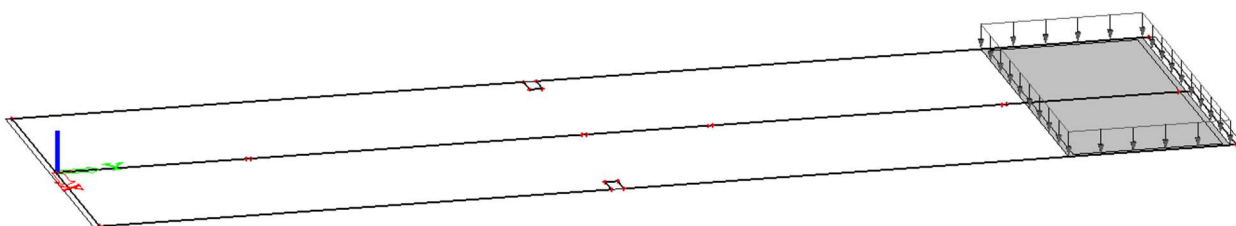
Obr. 41 RZS10 užitné terasa I



5.NP



Obr. 42 RZS11 užitné terasa II

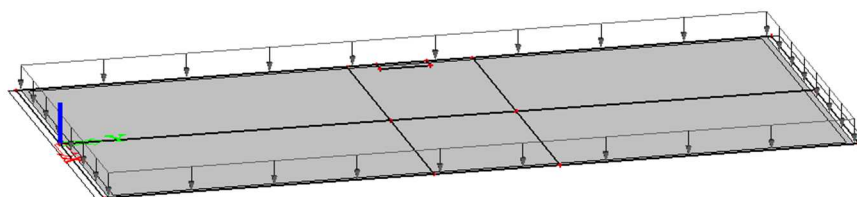
5.NP




-  1,5 kN/m² (hotelové pokoje, apartmán, terasa)
-  5,0 kN/m² (chodba)

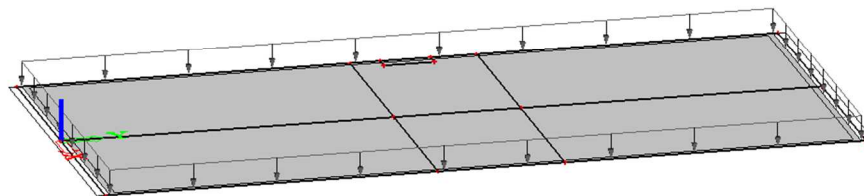
Obr. 43 RZS12 užitné střecha

střecha

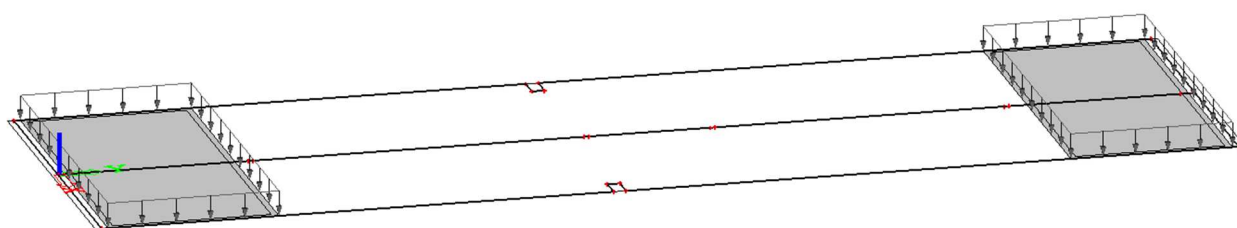


-  0,75 kN/m² (střecha)

Obr. 44 RZS13 sních: nenavátý
střecha



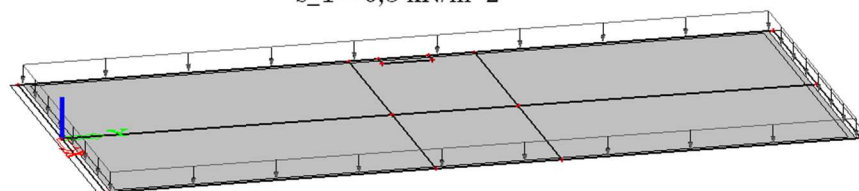
5.NP



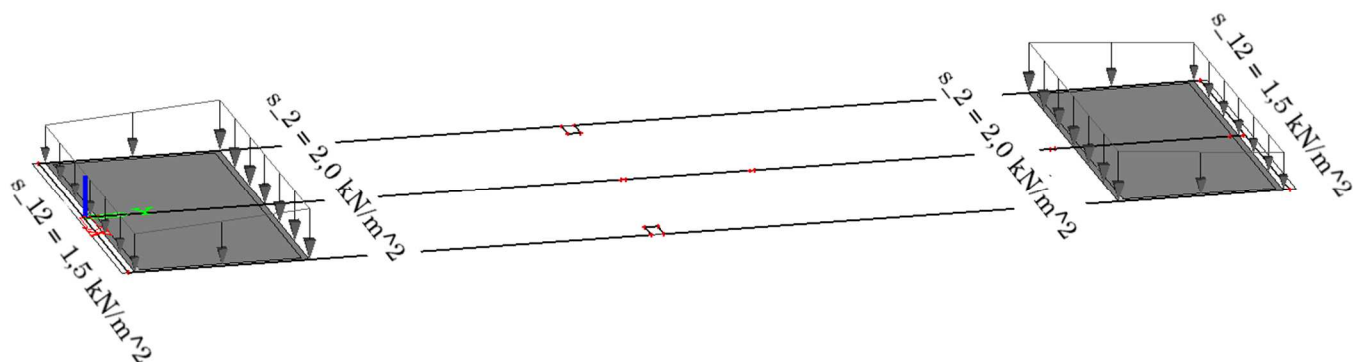
0,8 kN/m² s₁ (sních nenavátý)

Obr. 45 RZS14 sních: navátý
střecha

s₁ = 0,8 kN/m²



5.NP



Skupiny zatížení

Jednotlivé zatěžovací stavy jsou rozděleny do skupin, podle kterých se následně tvoří kombinace.

1. stálé RZS1až3
2. užitné interiéry RZS4až9: vztah mezi jednotlivými členy skupiny je nastaven na VÝBĚROVÝ, to znamená, že žádné dva zatěžovací stavy ze skupiny tohoto typu se nikdy neobjeví ve stejné kombinaci.
3. užitné střecha RZS10až12: nevzniknou kombinace obsahující sníh a užitné zatížení kat. H
4. sníh: RZS13a14: vztah mezi jednotlivými členy skupiny je nastaven na VÝBĚROVÝ

2.4.2 Kombinace

Programem SCIA engineer bude automaticky generována kombinace pro MSÚ typ (STR/GEO) soubor B dle rovnic 6.10a & 6.10b dle [1].

Schéma vytvoření kombinací:

$$\sum_{j=1}^3 \gamma_{G,j} \cdot X_j + \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot X_i + \left(\sum_{k=10}^{12} \gamma_{Q,k} \cdot \psi_{0,k} \cdot X_k \text{ nebo } \gamma_{Q,l} \cdot \psi_{0,l} \cdot X_l \right) \quad (6.10a)$$

...kde $i = 4, 5, 6 \dots 9; l = 13, 14$

$$\sum_{j=1}^3 \gamma_{G,j} \cdot \xi_j \cdot X_j + \gamma_{Q,i} \cdot X_i + \left(\sum_{k=10}^{12} \gamma_{Q,k} \cdot \psi_{0,k} \cdot X_k \text{ nebo } \gamma_{Q,l} \cdot \psi_{0,l} \cdot X_l \right) \quad (6.10b)$$

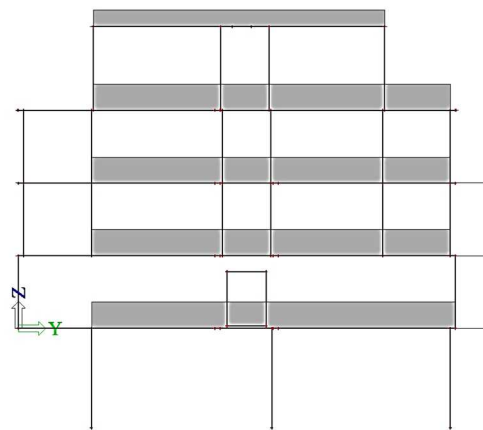
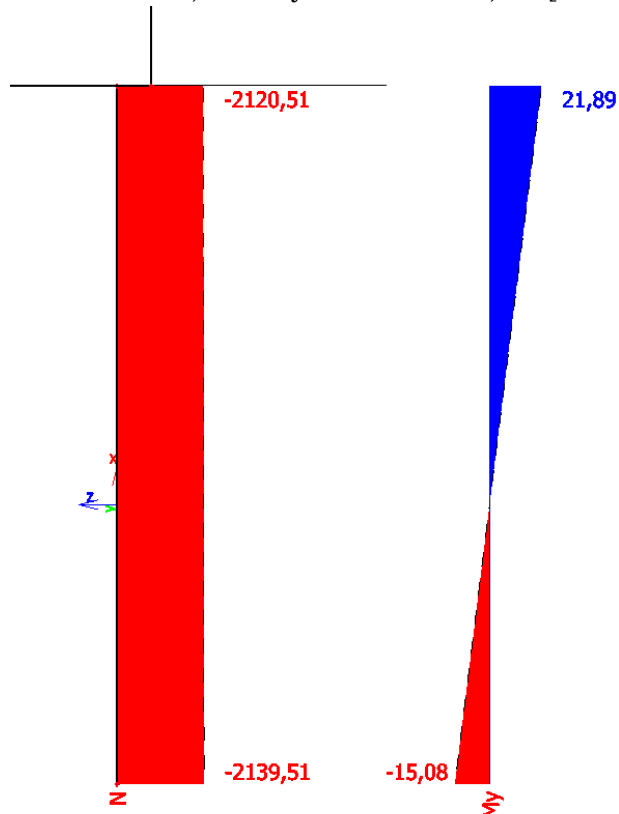
...kde $i = 4, 5, 6 \dots 9; l = 13, 14$

...kde X nahrazuje charakteristickou hodnotu kombinované veličiny daného zatěžovacího stavu.

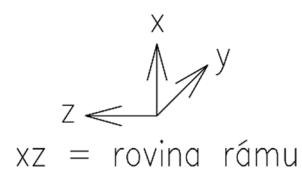
3 Vnitřní síly v konstrukci

Návrhové vnitřní síly ve sloupu S3 sloupové řady 3

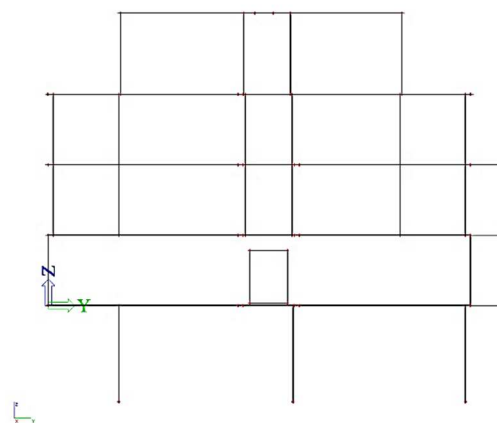
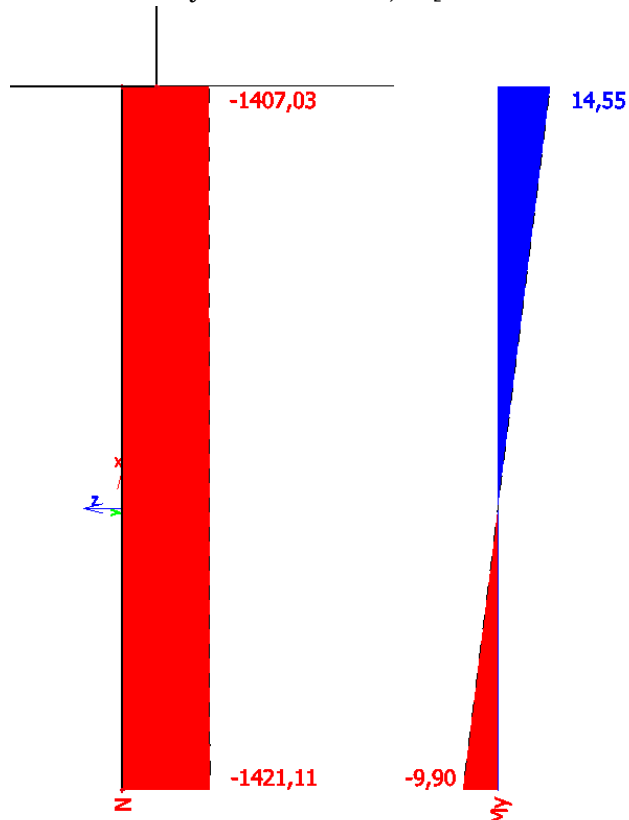
Obr. 46 max N, max My {Kombinace: $1,35 \cdot [RZS1 + RZS2 + RZS3] + 1,5 \cdot 0,7 \cdot [RZS9 + RZS11 + RZS12]$ }



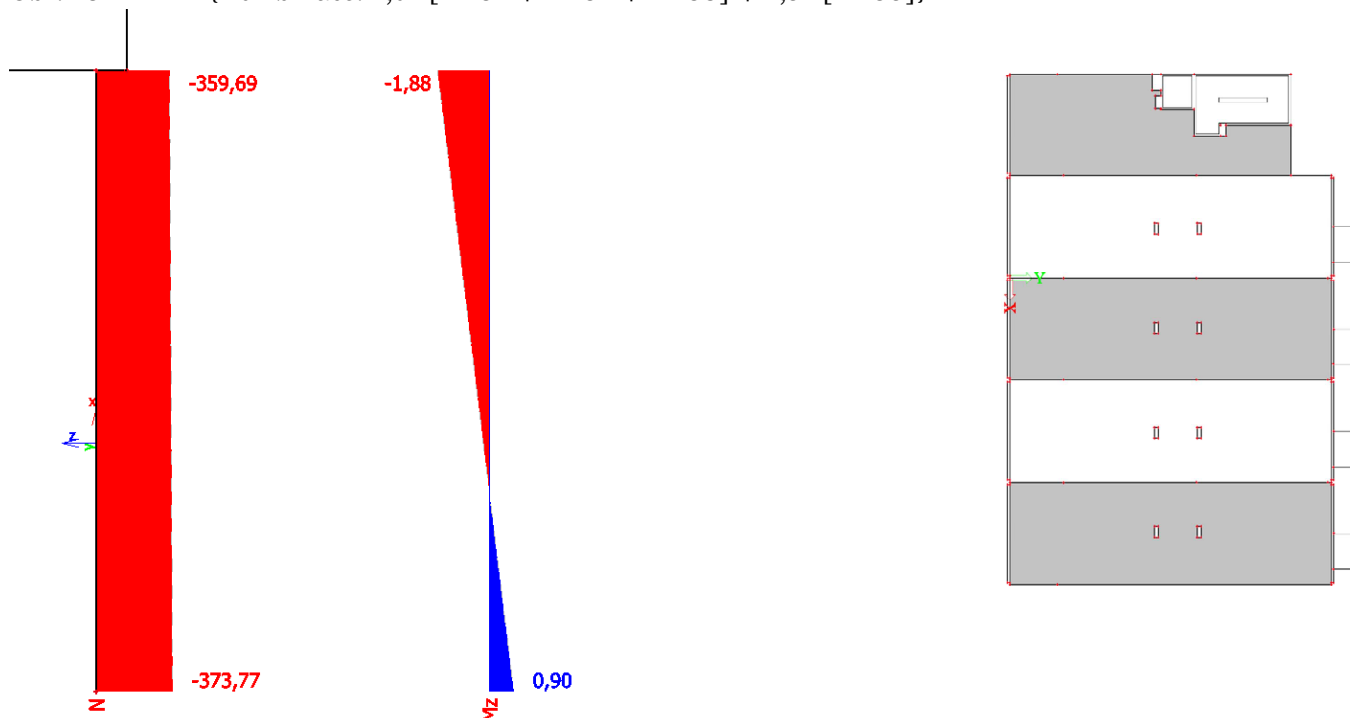
LSS sloupu



Obr. 47 min My {Kombinace: $1,0 \cdot [RZS1 + RZS2 + RZS3]$ }

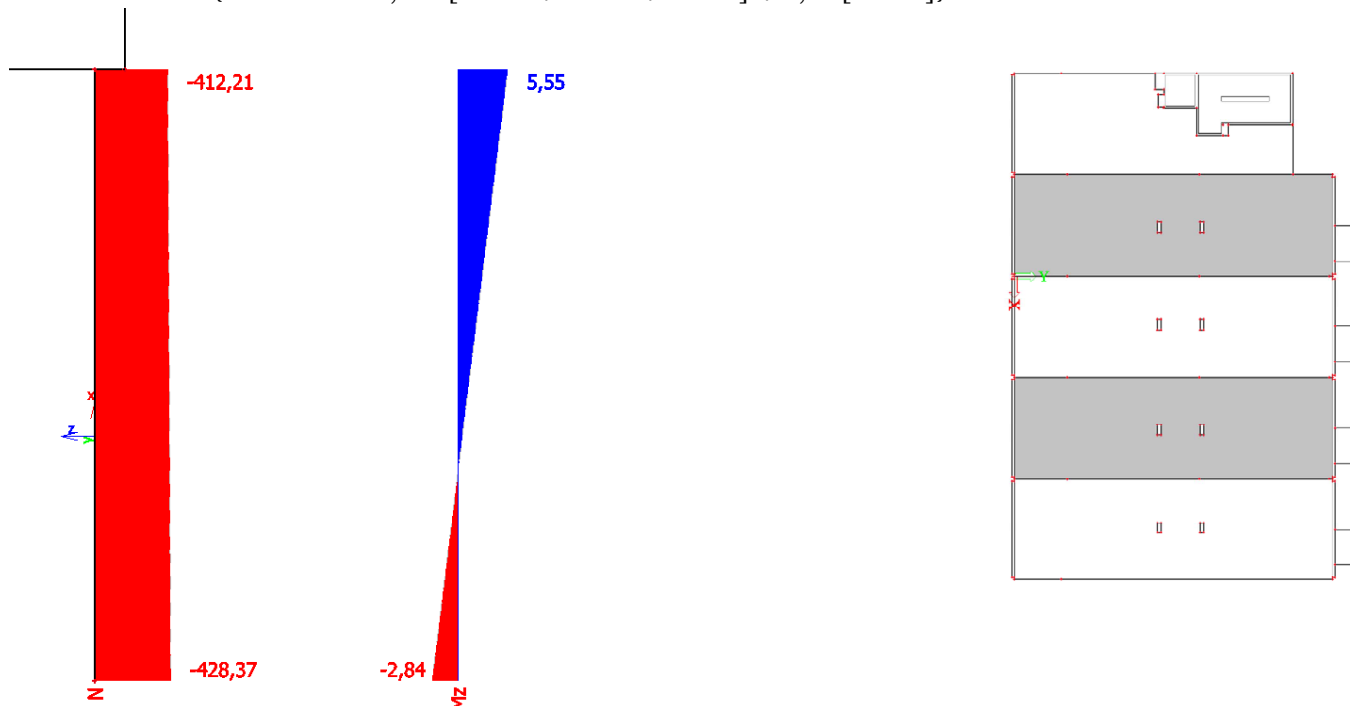


Obr. 48 min M_z {Kombinace: $1,0 \cdot [DZS1 + DZS2 + DZS3] + 1,5 \cdot [DZS5]$ }



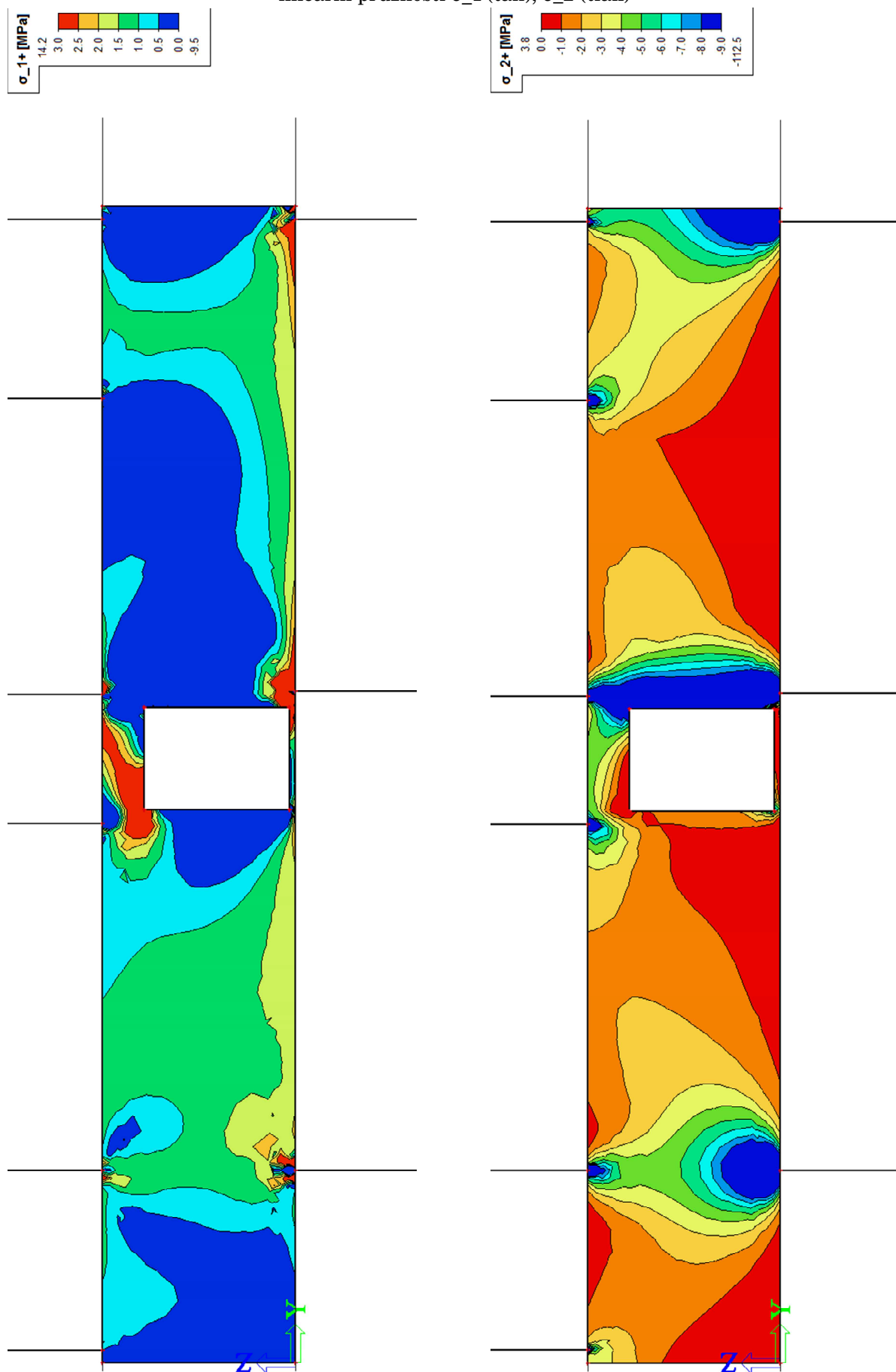
Výsledná normálová síla pro danou kombinaci bude určena jako přírůstek užitého zatížení $\Delta Q_d = (N_{top} = -359,69 \text{ kN} \text{ \{KO: } 1,0 \cdot [DZS1 + DZS2 + DZS3] + 1,5 \cdot [DZS5]\}}) - (N_{top} = -326,11 \text{ kN} \text{ \{KO: } 1,0 \cdot [DZS1 + DZS2 + DZS3]\}}) = -33,58 \text{ kN}$ ze čtyř pater $n = 4$ k normálové síle na rámu $N_{top} = -1407,03 \text{ kN} \text{ \{KO: } 1,0 \cdot [RZS1 + RZS2 + RZS3]\}}$, pak je výsledná síla v hlavě sloupu $N_{top} = -1407,03 + 4 \cdot (-33,58) \approx -1540 \text{ kN}$, obdobně v patě sloupu $N_{bot} \approx -1555 \text{ kN}$.

Obr. 49 max M_z {Kombinace: $1,15 \cdot [DZS1 + DZS2 + DZS3] + 1,5 \cdot [DZS6]$ }

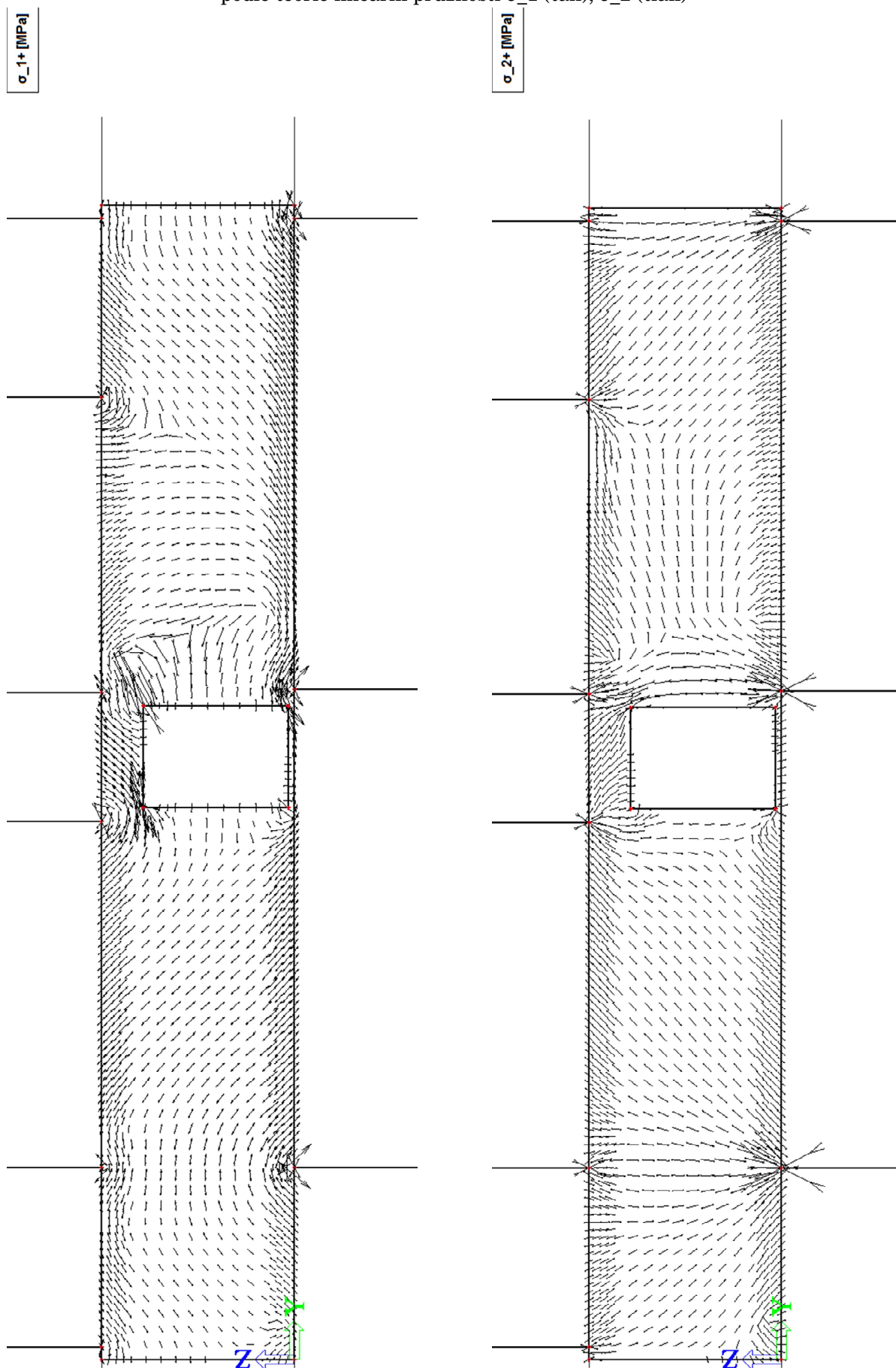


$\Delta Q_d = (N_{top} = -412,21 \text{ kN} \text{ \{KO: } 1,15 \cdot [DZS1 + DZS2 + DZS3] + 1,5 \cdot [DZS6]\}}) - (N_{top} = -375,03 \text{ kN} \text{ \{KO: } 1,15 \cdot [DZS1 + DZS2 + DZS3]\}}) = -37,18 \text{ kN}$, $N_{top} = -1618,08 \text{ kN} \text{ \{KO: } 1,15 \cdot [RZS1 + RZS2 + RZS3]\}}$, výsledná síla v hlavě sloupu $N_{top} \approx -1770 \text{ kN}$, v patě sloupu $N_{bot} \approx -1790 \text{ kN}$.

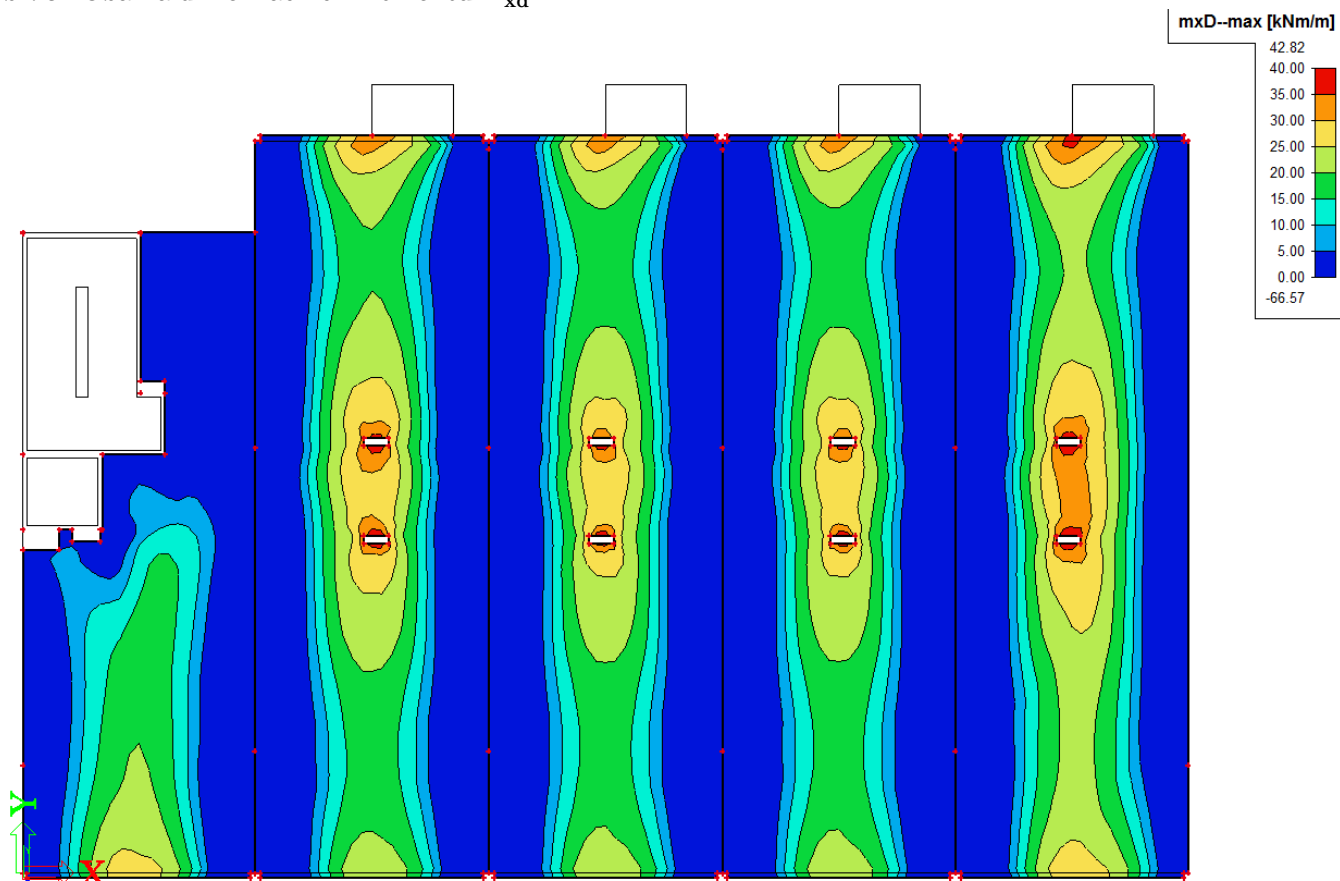
Obr. 50 Hlavní napětí na jedné ze stran stěnového nosníku stanovených na základě výpočtu podle teorie lineární pružnosti σ_1 (tah), σ_2 (tlak)



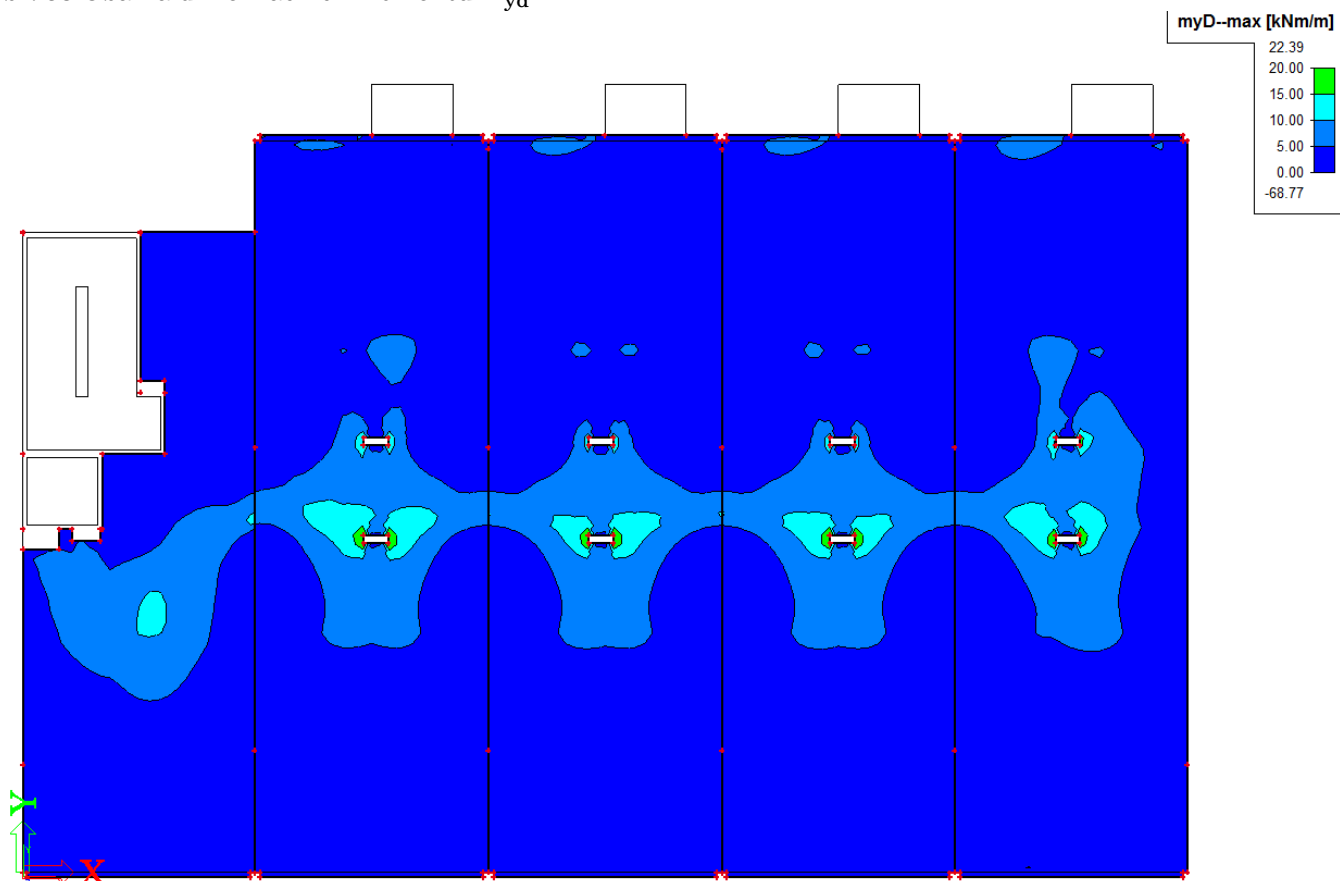
Obr. 51 Trajektorie hlavních napětí na jedné ze stran stěnového nosníku stanovených na základě výpočtu podle teorie lineární pružnosti σ_1 (tah), σ_2 (tlak)



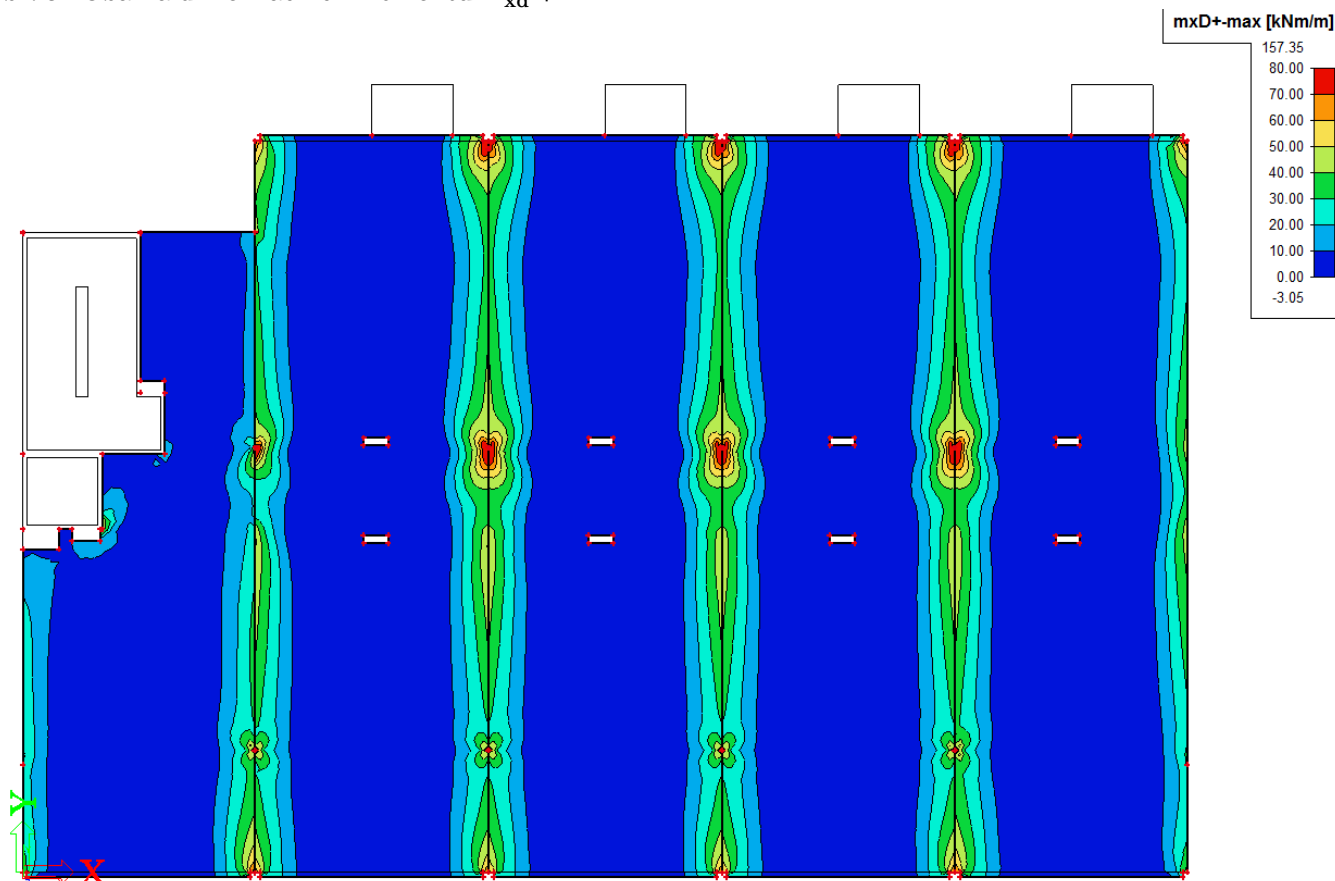
Obr. 52 Obálka dimenzačních momentů m_{xd} –



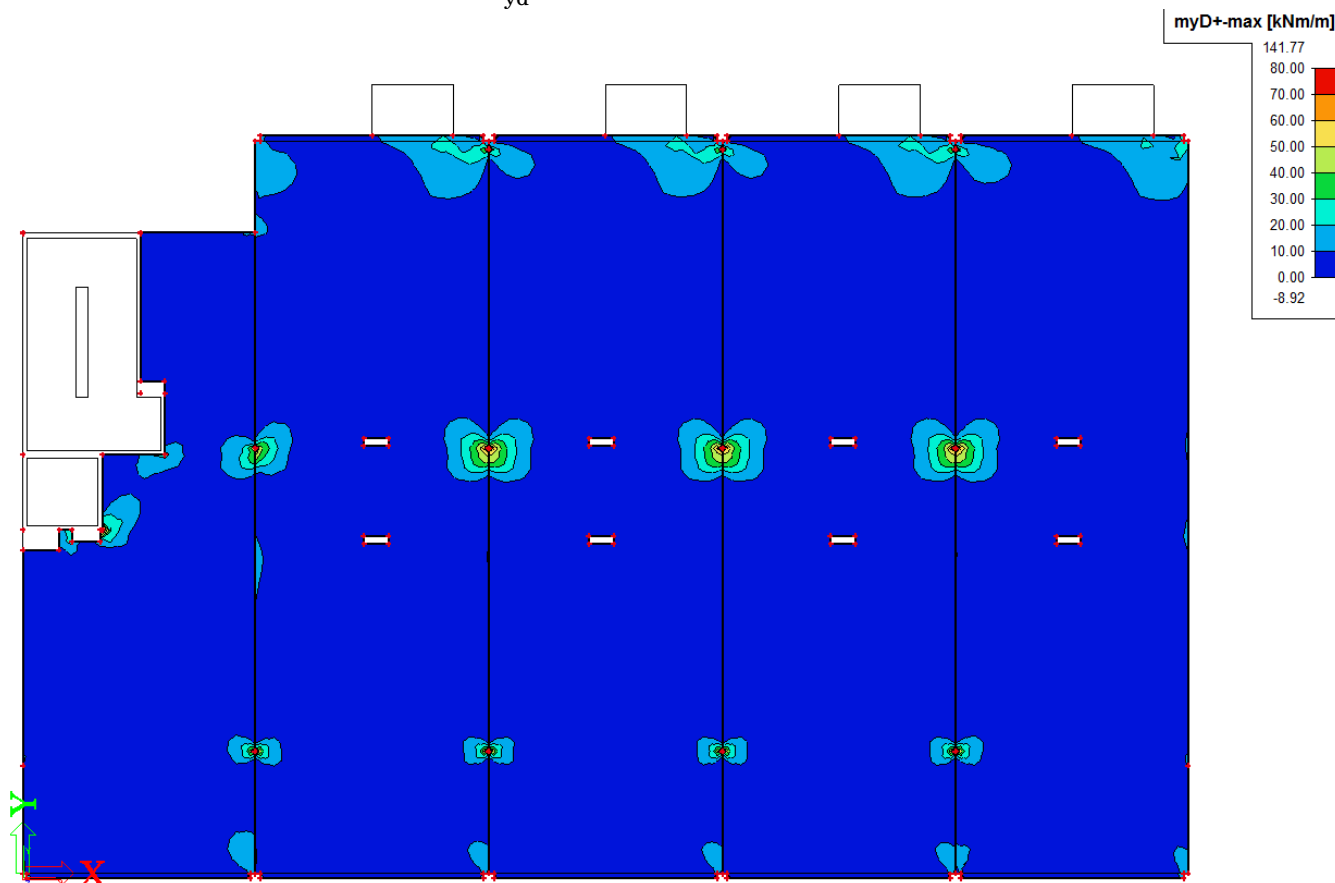
Obr. 53 Obálka dimenzačních momentů m_{yd} –



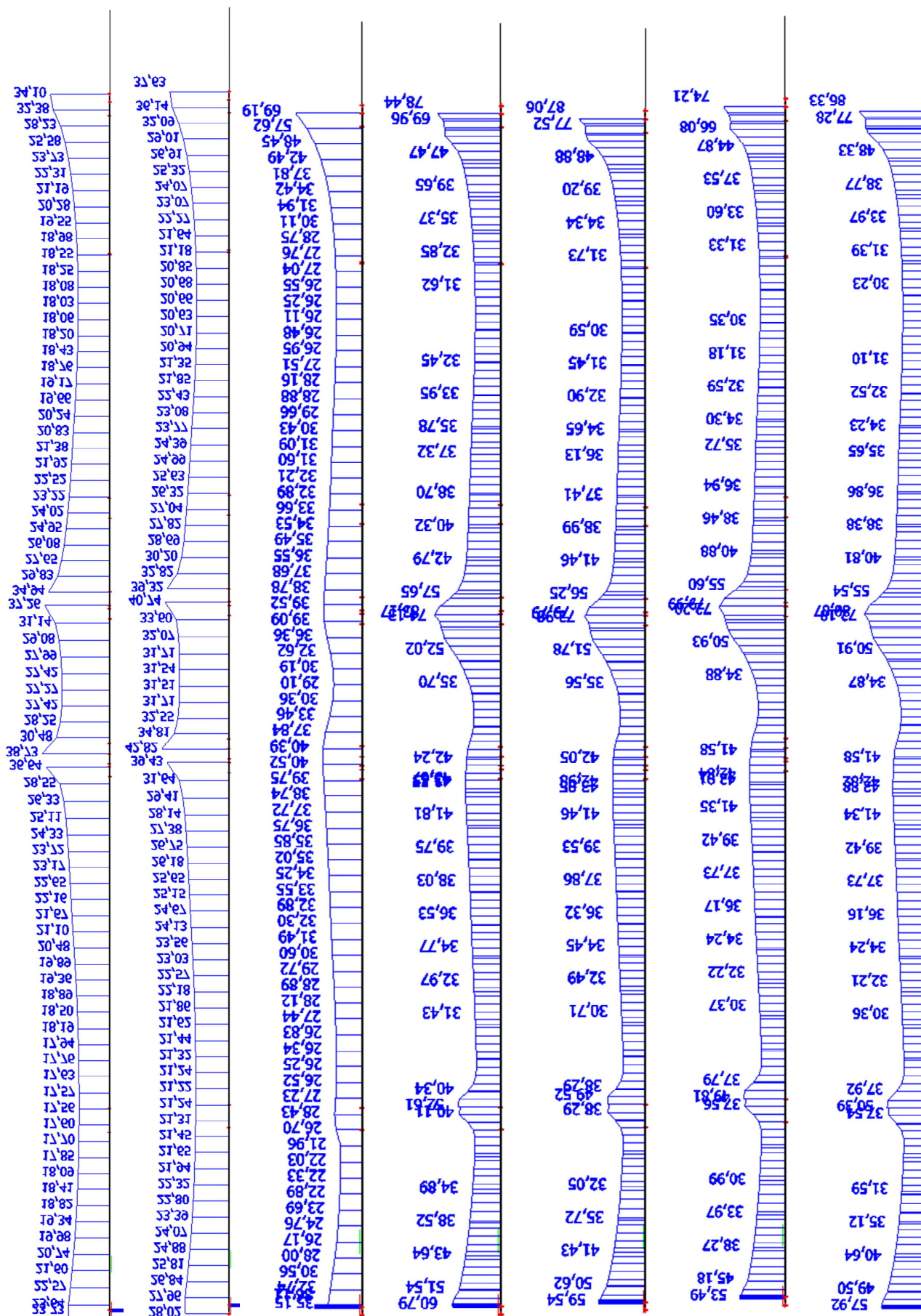
Obr. 54 Obálka dimenzačních momentů $m_{xd} +$



Obr. 55 Obálka dimenzačních momentů $m_{yd} +$

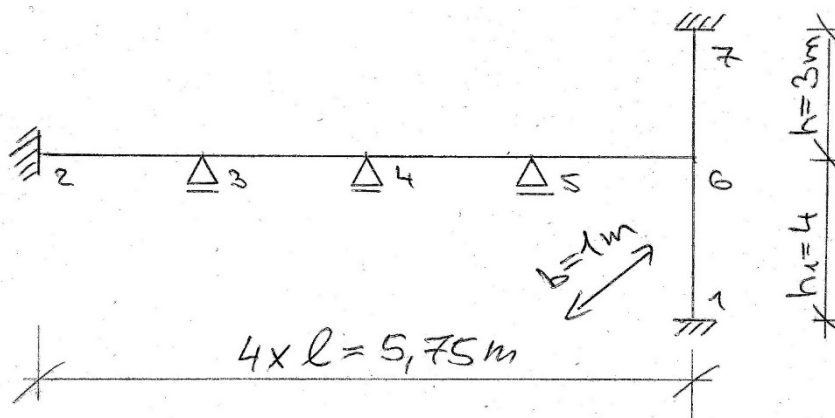


Obr. 56 Řez dimenzačními momenty m_{xd-} uprostřed středního pole 4-5 (1. zleva), uprostřed krajního pole 5-6 (2. zleva); momenty m_{xd+} v lici podpory 6 (3. zleva); v lici podpory 5b (4. zleva), v lici podpory 5a (5. zleva), v lici podpory 4b (6. zleva), v lici podpory 4a (7. zleva)



3.1 Ověření průběhu vnitřních sil na desce

Průběh vnitřních sil ve směru x byl ověřen na metrovém výseku spojitě nosníkové desky uprostřed rozpětí pole AC v krajním (5-6) a středním poli (4-5) pomocí zjednodušené deformační metody.



Odříznutou část v uzlu 2 nahradím vetknutím. Momenty setrvačnosti spočítám z příčných průřezů betonových prvků bez oslabení trhlinami a se zanedbáním výztuže.

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h_s^3 = \frac{1}{12} \cdot 1 \cdot 0,2^3 = 6,67 \times 10^{-4} \text{ m}^4 \text{ (deska)}$$

$$I_w = \frac{1}{12} \cdot b \cdot t_w^3 = \frac{1}{12} \cdot 1 \cdot 0,2^3 = 6,67 \times 10^{-4} \text{ m}^4 \text{ (stěna)}$$

$$m_{ab} = \overline{m}_{ab} + \widehat{m}_{ab} = \overline{m}_{ab} + k_{ab} (2\varphi_a + \varphi_b)$$

Primární moment pro oboustranně vetknutý prut konstantního průřezu

$$\overline{m}_{ab} = -\frac{1}{12} \cdot f \cdot l^2 = -\overline{m}_{ba}$$

Sekundární moment pro oboustranně monoliticky připojený prut konstantního průřezu

$$\widehat{m}_{ab} = \frac{4EI}{l} \cdot \varphi_a + \frac{2EI}{l} \varphi_b = \frac{2EI}{l} (2\varphi_a + \varphi_b)$$

Pro řešení konstrukcí stálého průřezu mohu uvažovat $2E = 1$.

Ohybovou tuhost stěn převedu na poměr tuhostí vůči desce

$$K_s = \frac{I_s}{l} \cdot c = 1 \Rightarrow c = \frac{l}{I_s} = \frac{5,75}{6,67 \times 10^{-4}} = 8620$$

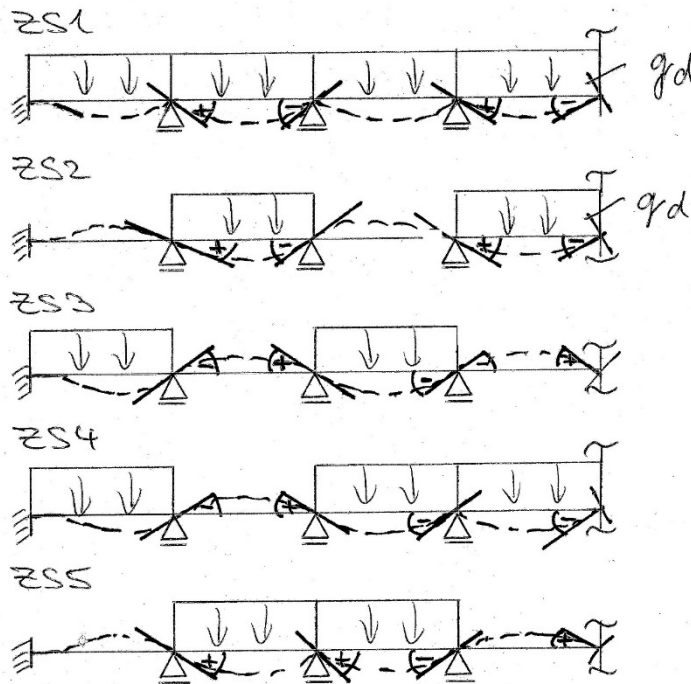
$$K_{w1} = \frac{I_w}{h_1} \cdot c = \frac{6,67 \times 10^{-4}}{4} \cdot 8620 = 1,44; K_w = \frac{I_w}{h} \cdot c = \frac{6,67 \times 10^{-4}}{3} \cdot 8620 = 1,92$$

Výslednou obálku vnitřních sil ve sledovaných průřezích získám superpozicí účinků zatížení (zanedbána liniová zatížení) v kombinacích podle rovnic 6.10a & 6.10b vyvozujících namáhání

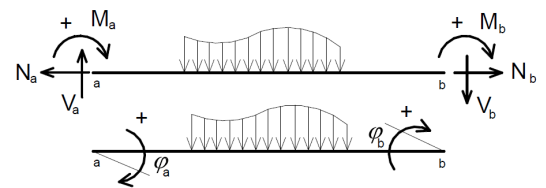
$$f_d = \gamma_G \cdot (g_{0k} + g_{1k}) + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot q_k = 1,35 \cdot (0,2 \cdot 25 \text{ kNm}^{-3} + 2,3) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 1,5 = 11,43 \text{ kN/m} \quad (6.10a)$$

$$f_d = \gamma_G \cdot \xi \cdot (g_{0k} + g_{1k}) + \gamma_Q \cdot q_k = 1,35 \cdot 0,85 \cdot (0,2 \cdot 25 \text{ kNm}^{-3} + 2,3) + 1,5 \cdot 1,5 = 10,63 \text{ kN/m} \quad (6.10b)$$

rozhoduje 6.10a pak $g_d = 9,9 \text{ kN/m}; q_d = 1,6 \text{ kN/m}$



deformační metoda



ad. ZS1

suma momentů ve styčnicku je rovna 0

$$m_{32} = \bar{m}_{32} + k_{32}(2\varphi_3 + \varphi_2) = +27,28 + 1,0(2\varphi_3 + 0)$$

$$m_{34} = \bar{m}_{34} + k_{34}(2\varphi_3 + \varphi_4) = -27,28 + 1,0(2\varphi_3 + \varphi_4)$$

$$m_{43} = \bar{m}_{43} + k_{43}(2\varphi_4 + \varphi_3) = +27,28 + 1,0(2\varphi_4 + \varphi_3)$$

$$m_{45} = \bar{m}_{45} + k_{45}(2\varphi_4 + \varphi_5) = -27,28 + 1,0(2\varphi_4 + \varphi_5)$$

$$m_{54} = \bar{m}_{54} + k_{54}(2\varphi_5 + \varphi_4) = +27,28 + 1,0(2\varphi_5 + \varphi_4)$$

$$m_{56} = \bar{m}_{56} + k_{56}(2\varphi_5 + \varphi_6) = -27,28 + 1,0(2\varphi_5 + \varphi_6)$$

$$m_{65} = \bar{m}_{65} + k_{65}(2\varphi_6 + \varphi_5) = +27,28 + 1,0(2\varphi_6 + \varphi_5)$$

$$m_{61} = \bar{m}_{61} + k_{61}(2\varphi_6 + \varphi_1) = 0 + 1,44(2\varphi_6 + 0)$$

$$m_{67} = \bar{m}_{67} + k_{67}(2\varphi_6 + \varphi_7) = 0 + 1,92(2\varphi_6 + 0)$$

po dosazení za φ

$$\approx +27,4 \text{ kNm}$$

$$\approx -27,4 \text{ kNm}$$

$$\approx +26,9 \text{ kNm}$$

$$\approx -26,9 \text{ kNm}$$

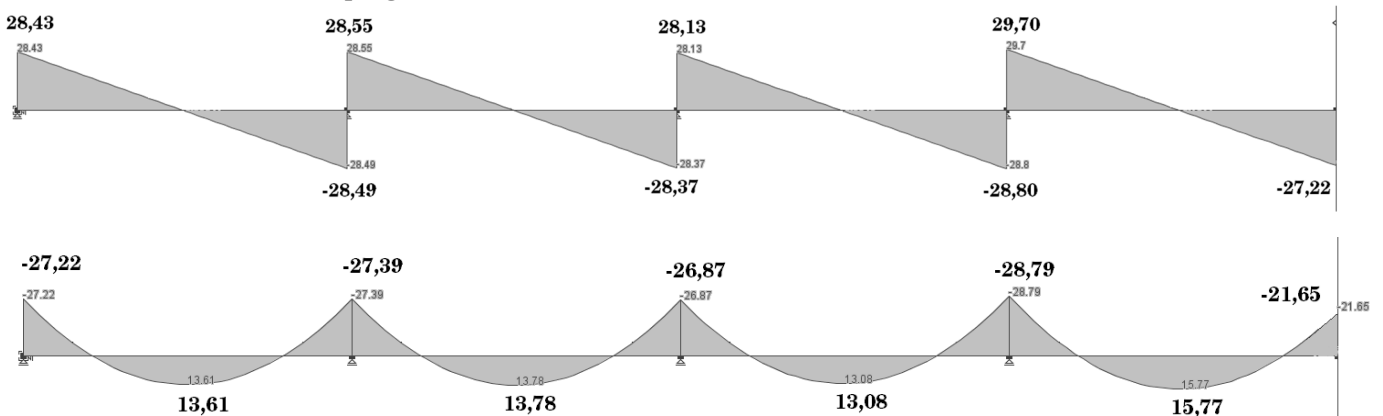
$$\approx +28,8 \text{ kNm}$$

$$\approx -28,8 \text{ kNm}$$

$$\approx +21,7 \text{ kNm}$$

$$\begin{pmatrix} 4 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 8,72 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varphi_3 \\ \varphi_4 \\ \varphi_5 \\ \varphi_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -27,28 \end{pmatrix} \Rightarrow \varphi_3 = 0,0576; \varphi_4 = -0,2305; \varphi_5 = 0,8645; \varphi_6 = -3,2276$$

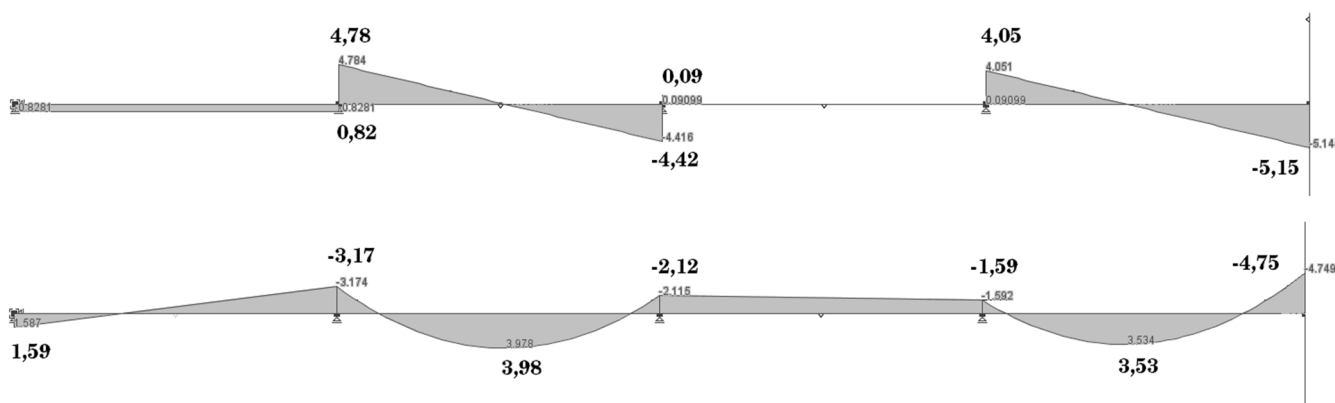
Obr. 57 Průběh momentů z programu Mafodem založeném na obecné deformační metodě



ad. ZS2

$m_{32} = \overline{m}_{32} + k_{32}(2\varphi_3 + \varphi_2) = 0 + 1,0(2\varphi_3 + 0)$	$\approx +3,2 \text{ kNm}$
$m_{34} = \overline{m}_{34} + k_{34}(2\varphi_3 + \varphi_4) = -4,4 + 1,0(2\varphi_3 + \varphi_4)$	$\approx -3,2 \text{ kNm}$
$m_{43} = \overline{m}_{43} + k_{43}(2\varphi_4 + \varphi_3) = +4,4 + 1,0(2\varphi_4 + \varphi_3)$	$\approx +2,1 \text{ kNm}$
$m_{45} = \overline{m}_{45} + k_{45}(2\varphi_4 + \varphi_5) = 0 + 1,0(2\varphi_4 + \varphi_5)$	$\approx -2,1 \text{ kNm}$
$m_{54} = \overline{m}_{54} + k_{54}(2\varphi_5 + \varphi_4) = 0 + 1,0(2\varphi_5 + \varphi_4)$	$\approx +1,6 \text{ kNm}$
$m_{56} = \overline{m}_{56} + k_{56}(2\varphi_5 + \varphi_6) = -4,4 + 1,0(2\varphi_5 + \varphi_6)$	$\approx -1,6 \text{ kNm}$
$m_{65} = \overline{m}_{65} + k_{65}(2\varphi_6 + \varphi_5) = +4,4 + 1,0(2\varphi_6 + \varphi_5)$	$\approx +4,8 \text{ kNm}$
$m_{61} = \overline{m}_{61} + k_{61}(2\varphi_6 + \varphi_1) = 0 + 1,44(2\varphi_6 + 0)$	
$m_{67} = \overline{m}_{67} + k_{67}(2\varphi_6 + \varphi_7) = 0 + 1,92(2\varphi_6 + 0)$	

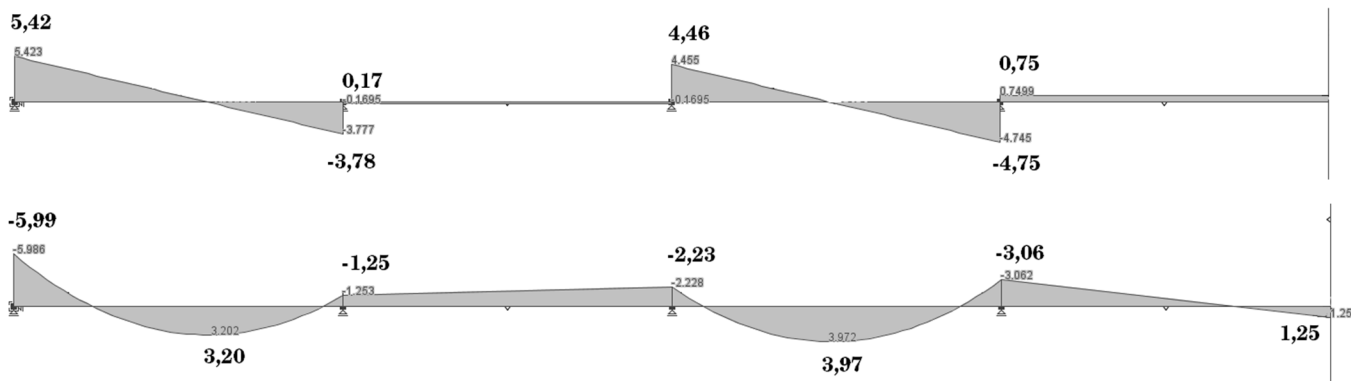
$$\begin{pmatrix} 4 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 8,72 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varphi_3 \\ \varphi_4 \\ \varphi_5 \\ \varphi_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4,4 \\ -4,4 \\ 4,4 \\ -4,4 \end{pmatrix} \Rightarrow \varphi_3 = 1,5840; \varphi_4 = -1,9362; \varphi_5 = 1,7607; \varphi_6 = -0,7065$$



ad. ZS3

$m_{32} = \overline{m}_{32} + k_{32}(2\varphi_3 + \varphi_2) = +4,4 + 1,0(2\varphi_3 + 0)$	$\approx +1,25 \text{ kNm}$
$m_{34} = \overline{m}_{34} + k_{34}(2\varphi_3 + \varphi_4) = 0 + 1,0(2\varphi_3 + \varphi_4)$	$\approx -1,25 \text{ kNm}$
$m_{43} = \overline{m}_{43} + k_{43}(2\varphi_4 + \varphi_3) = 0 + 1,0(2\varphi_4 + \varphi_3)$	$\approx +2,2 \text{ kNm}$
$m_{45} = \overline{m}_{45} + k_{45}(2\varphi_4 + \varphi_5) = -4,4 + 1,0(2\varphi_4 + \varphi_5)$	$\approx -2,2 \text{ kNm}$
$m_{54} = \overline{m}_{54} + k_{54}(2\varphi_5 + \varphi_4) = +4,4 + 1,0(2\varphi_5 + \varphi_4)$	$\approx +3,1 \text{ kNm}$
$m_{56} = \overline{m}_{56} + k_{56}(2\varphi_5 + \varphi_6) = 0 + 1,0(2\varphi_5 + \varphi_6)$	$\approx -3,1 \text{ kNm}$
$m_{65} = \overline{m}_{65} + k_{65}(2\varphi_6 + \varphi_5) = 0 + 1,0(2\varphi_6 + \varphi_5)$	$\approx -1,3 \text{ kNm}$
$m_{61} = \overline{m}_{61} + k_{61}(2\varphi_6 + \varphi_1) = 0 + 1,44(2\varphi_6 + 0)$	
$m_{67} = \overline{m}_{67} + k_{67}(2\varphi_6 + \varphi_7) = 0 + 1,92(2\varphi_6 + 0)$	

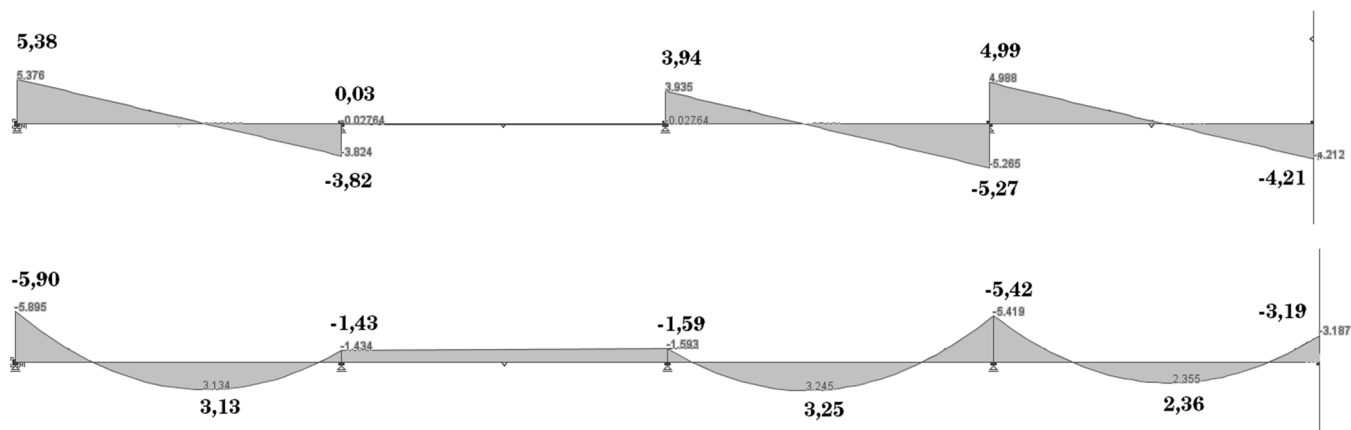
$$\begin{pmatrix} 4 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 8,72 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varphi_3 \\ \varphi_4 \\ \varphi_5 \\ \varphi_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -4,4 \\ 4,4 \\ -4,4 \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow \varphi_3 = -1,5748; \varphi_4 = 1,8990; \varphi_5 = -1,6212; \varphi_6 = 0,1859$$



ad. ZS4

$$\begin{aligned}
 m_{32} &= \overline{m}_{32} + k_{32}(2\varphi_3 + \varphi_2) = +4,4 + 1,0(2\varphi_3 + 0) & \approx +1,4 \text{ kNm} \\
 m_{34} &= \overline{m}_{34} + k_{34}(2\varphi_3 + \varphi_4) = 0 + 1,0(2\varphi_3 + \varphi_4) & \approx -1,4 \text{ kNm} \\
 m_{43} &= \overline{m}_{43} + k_{43}(2\varphi_4 + \varphi_3) = 0 + 1,0(2\varphi_4 + \varphi_3) & \approx +1,6 \text{ kNm} \\
 m_{45} &= \overline{m}_{45} + k_{45}(2\varphi_4 + \varphi_5) = -4,4 + 1,0(2\varphi_4 + \varphi_5) & \approx -1,6 \text{ kNm} \\
 m_{54} &= \overline{m}_{54} + k_{54}(2\varphi_5 + \varphi_4) = +4,4 + 1,0(2\varphi_5 + \varphi_4) & \approx +5,4 \text{ kNm} \\
 m_{56} &= \overline{m}_{56} + k_{56}(2\varphi_5 + \varphi_6) = -4,4 + 1,0(2\varphi_5 + \varphi_6) & \approx -5,4 \text{ kNm} \\
 m_{65} &= \overline{m}_{65} + k_{65}(2\varphi_6 + \varphi_5) = +4,4 + 1,0(2\varphi_6 + \varphi_5) & \approx +3,2 \text{ kNm} \\
 m_{61} &= \overline{m}_{61} + k_{61}(2\varphi_6 + \varphi_1) = 0 + 1,44(2\varphi_6 + 0) \\
 m_{67} &= \overline{m}_{67} + k_{67}(2\varphi_6 + \varphi_7) = 0 + 1,92(2\varphi_6 + 0)
 \end{aligned}$$

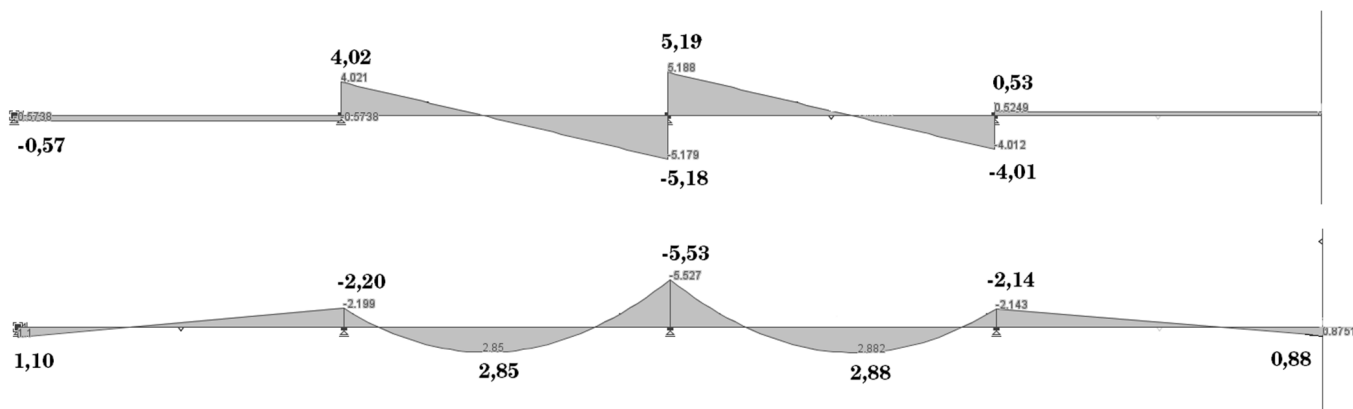
$$\begin{pmatrix} 4 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 8,72 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varphi_3 \\ \varphi_4 \\ \varphi_5 \\ \varphi_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -4,4 \\ 4,4 \\ 0 \\ -4,4 \end{pmatrix} \Rightarrow \varphi_3 = -1,4844; \varphi_4 = 1,5376; \varphi_5 = -0,2659; \varphi_6 = -0,4741$$



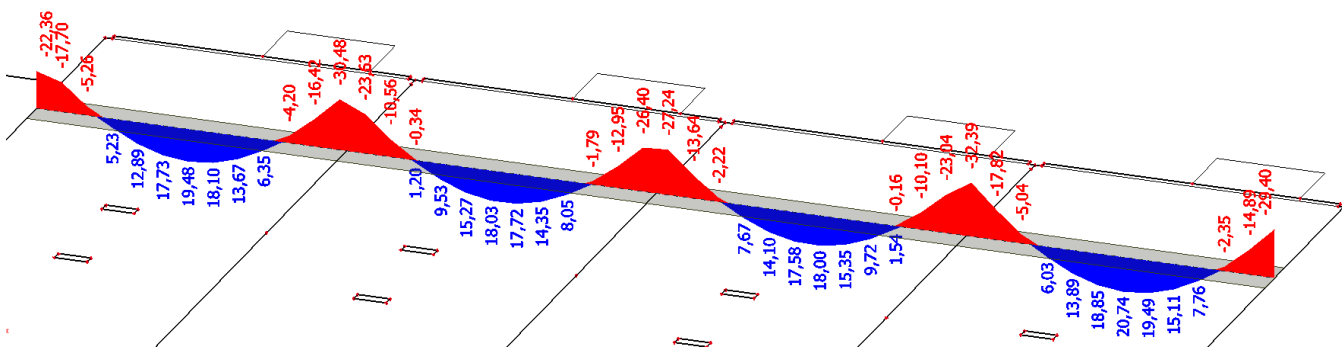
ad. ZS5

$$\begin{aligned}
 m_{32} &= \overline{m}_{32} + k_{32}(2\varphi_3 + \varphi_2) = 0 + 1,0(2\varphi_3 + 0) & \approx +2,2 \text{ kNm} \\
 m_{34} &= \overline{m}_{34} + k_{34}(2\varphi_3 + \varphi_4) = -4,4 + 1,0(2\varphi_3 + \varphi_4) & \approx -2,2 \text{ kNm} \\
 m_{43} &= \overline{m}_{43} + k_{43}(2\varphi_4 + \varphi_3) = +4,4 + 1,0(2\varphi_4 + \varphi_3) & \approx +5,5 \text{ kNm} \\
 m_{45} &= \overline{m}_{45} + k_{45}(2\varphi_4 + \varphi_5) = -4,4 + 1,0(2\varphi_4 + \varphi_5) & \approx -5,5 \text{ kNm} \\
 m_{54} &= \overline{m}_{54} + k_{54}(2\varphi_5 + \varphi_4) = +4,4 + 1,0(2\varphi_5 + \varphi_4) & \approx +2,1 \text{ kNm} \\
 m_{56} &= \overline{m}_{56} + k_{56}(2\varphi_5 + \varphi_6) = 0 + 1,0(2\varphi_5 + \varphi_6) & \approx -2,1 \text{ kNm} \\
 m_{65} &= \overline{m}_{65} + k_{65}(2\varphi_6 + \varphi_5) = 0 + 1,0(2\varphi_6 + \varphi_5) & \approx -0,9 \text{ kNm} \\
 m_{61} &= \overline{m}_{61} + k_{61}(2\varphi_6 + \varphi_1) = 0 + 1,44(2\varphi_6 + 0) \\
 m_{67} &= \overline{m}_{67} + k_{67}(2\varphi_6 + \varphi_7) = 0 + 1,92(2\varphi_6 + 0)
 \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} 4 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 8,72 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varphi_3 \\ \varphi_4 \\ \varphi_5 \\ \varphi_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4,4 \\ 0 \\ -4,4 \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow \varphi_3 = 1,0977; \varphi_4 = 0,0093; \varphi_5 = -1,1349; \varphi_6 = 0,1302$$



Obr. 58 Průběh z integrovaných ohybových momentů ve směru x z 1 metru desky v programu SCIA engineer



tab. 9 Srovnání vypočtených hodnot

	Deformační metoda (obálka)	MKP (obálka)
max. moment v uzlu 6	$= -21,65 - 4,75 = -26,40 \text{ kNm}\cdot\text{m}^{-1}$	$-29,4 \text{ kNm}\cdot\text{m}^{-1}$
max. moment v poli 5-6	$= +15,77 + 3,53 = +19,30 \text{ kNm}\cdot\text{m}^{-1}$	$+20,74 \text{ kNm}\cdot\text{m}^{-1}$
max. moment v uzlu 5	$= -28,79 - 5,42 = -34,21 \text{ kNm}\cdot\text{m}^{-1}$	$-32,39 \text{ kNm}\cdot\text{m}^{-1}$
max. moment v poli 4-5	$= +13,08 + 3,97 = +17,05 \text{ kNm}\cdot\text{m}^{-1}$	$+18,00 \text{ kNm}\cdot\text{m}^{-1}$
max. moment v uzlu 4	$= -26,87 - 5,53 = -32,40 \text{ kNm}\cdot\text{m}^{-1}$	$-27,24 \text{ kNm}\cdot\text{m}^{-1}$

Zhodnocení

Spočtené hodnoty ohybových momentů si přibližně odpovídají, rozdíl hodnot je způsoben především nezahrnutím liniových konstrukcí ostatního stálého zatížení při ručním výpočtu spojitě desky bez omezení rotace.

4 Dimenzování vybraných konstrukcí

4.1 Dimenzování výztuže desky nad 1.NP

4.1.1 Návrh a posouzení výztuže na MSÚ

Návrh základního uspořádání podélné výztuže ve směru x při spodním povrchu

Deska bude vyztužena na $m_{Rd,1}$ připadající ploše $A_s \geq A_{s,min}$. V místech s $m_{Ed} > m_{Rd,1}$ budou navíc vloženy pruty výztuže o ploše $A_{s,add} = (A_{s,req} - A_s)$. Délky a poloha těchto oblastí budou odečteny z izolinií momentového obrazce exportovaného do programu AutoCAD.

předběžný odhad výztuže \varnothing 8 mm

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 10 + 10 = 20 \text{ mm, navrženo krytí } c = 20 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}) = \max(8; 10; 10) = 10 \text{ mm}$$

$$d = h_s - (c + \varnothing/2) = 200 - (20 + 8/2) = 176 \text{ mm}$$

konstrukční zásady

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h_s = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,2 = 80,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2 > A_s$$

$$A_{s,min,EC} = \max\left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d; 0,0013 \cdot b \cdot d\right) = \max\left(0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1 \cdot 0,176; 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,176\right) \\ = \max(2,65 \times 10^{-4}; 2,29 \times 10^{-4}) = 2,65 \times 10^{-4} \text{ m}^2 < A_s$$

$$A_{s,min,\check{CSN}} = \max\left(0,0018 \cdot \frac{f_{yk}}{500} \cdot b \cdot d; 0,0014 \cdot b \cdot d\right) = \max\left(0,0018 \cdot \frac{500}{500} \cdot 1 \cdot 0,176; 0,0014 \cdot 1 \cdot 0,176\right) \\ = \max(3,17 \times 10^{-4}; 2,46 \times 10^{-4}) = 3,17 \times 10^{-4} \text{ m}^2 < A_s$$

$$s_{min} = \max(1,2\varnothing; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 8 = 9,6; 32 + 5 = 37; 20) = 37 \text{ mm} < s$$

$$s_{max} = \min(2h_s; 300 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 200 = 400; 300) = 300 \text{ mm} \geq s$$

při spodním líci navržena výztuž \varnothing 8/150, $A_s = 3,35 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ v celé ploše

základní ohybová únosnost na 1 m šířky

výška tlačené části

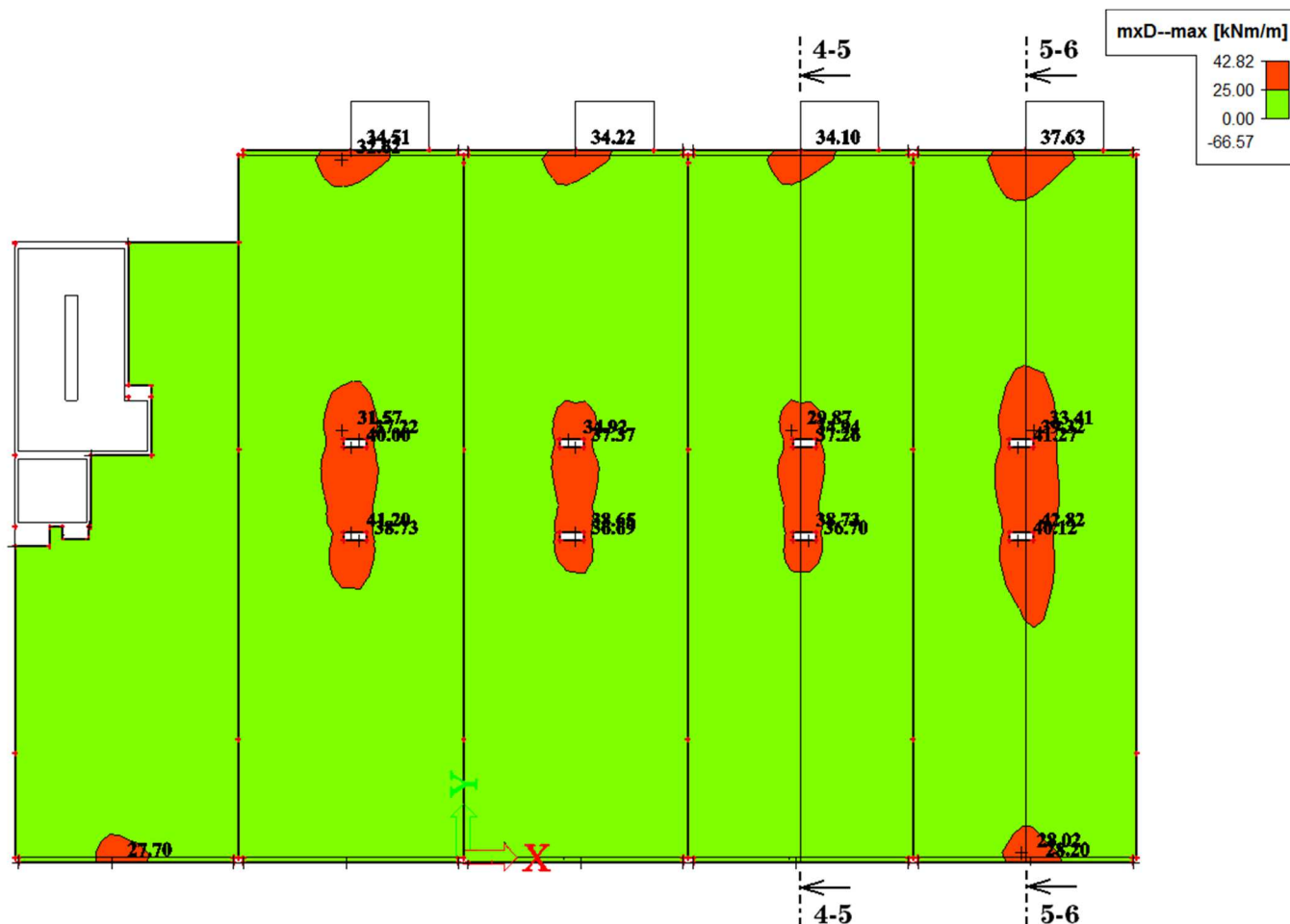
$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{3,35 \times 10^{-4} \cdot 434,78}{1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 20} = 0,009 \text{ m} < x_{bal,1} = \frac{|\varepsilon_{cu}| \cdot d}{\varepsilon_{yd} + |\varepsilon_{cu}|} = \frac{3,5 \cdot 0,176}{2,17 + 3,5} = 0,109 \text{ m} =>$$

napětí ve výztuži $\sigma_s \geq f_{yd}$

$$\text{rameno vnitřních sil } z_c = d - 0,5 (\lambda \cdot x) = 0,176 - 0,5 (0,8 \cdot 0,009) = 0,172 \text{ m}$$

moment na mezi únosnosti

$$m_{Rd,1} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 3,35 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 \cdot 0,172 = 25,05 \text{ kNm}$$



přídavná výztuž v místech s nevyhovující základní ohybovou únosností, $\max m_{Ed}$ se předpokládá v krajním poli 5-6 spojitého nosníku, hodnota vyčtena z řezu

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) = 1 \cdot 0,176 \cdot \frac{20}{434,78} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 42,82}{1 \cdot 0,176^2 \cdot 20 \times 10^3}} \right)$$

$$A_{s,req} = 5,8 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow A_{s,add} = A_{s,req} - A_s = (5,8 - 3,35) \times 10^{-4} = 2,45 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

navržena výztuž $\varnothing 8/150$, $A_{s,add} = 3,35 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ navíc vložená do základního rastru

$s_{min} = 37 \text{ mm} < s = 75 - \phi = 67 \text{ mm}$ pro symetrické umístění výztuže, z důvodu ztuhnutí ponorným vibrátorem lze výztuž umístit blíže k jedné straně, ne však blíže jak na minimální světlou vzdálenost mezi pruty s_{min}

$$A_{s,max} = 80,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2 > \sum A_s = 6,7 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$x = \frac{\sum A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \eta \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{6,7 \times 10^{-4} \cdot 434,78}{1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 20} = 0,018 \text{ m}$$

$$z_c = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,176 - \frac{0,8 \cdot 0,018}{2} = 0,169 \text{ m}$$

$$m_{Rd,2} = \sum A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 6,7 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 \cdot 0,169 = 49,23 \text{ kNm}$$

Příčná výztuž ve směru y při spodním povrchu

Navržena podle konstrukčních zásad rozdělovací výztuže.

$$A_{s,y} \geq 0,2 \sum A_{s,x} = 0,2 \cdot 6,7 \times 10^{-4} = 1,34 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s_{max} = \min(3h_s; 400 \text{ mm}) = \min(3 \cdot 220; 400) = 400 \text{ mm} \geq s$$

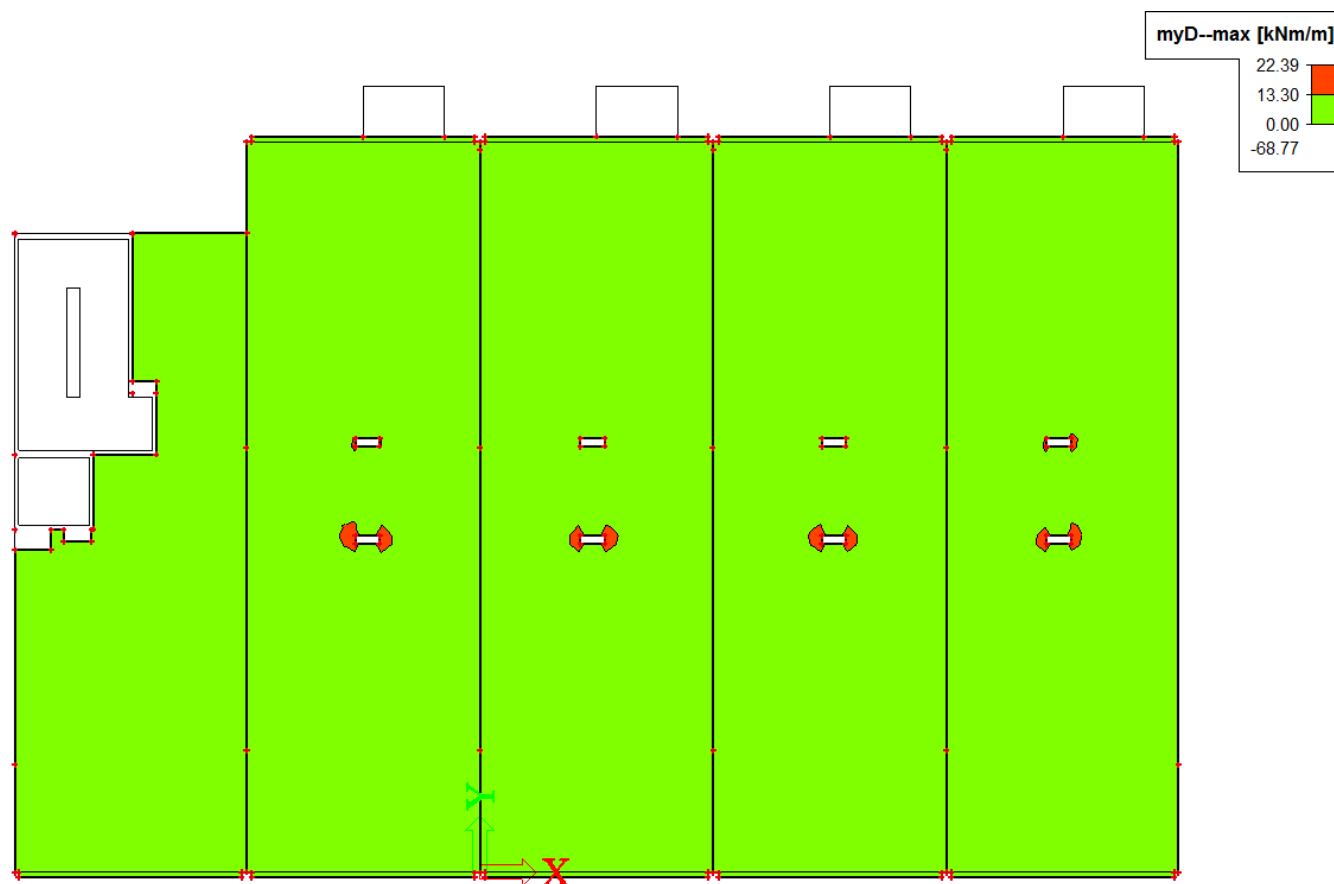
$$\text{navržena výztuž } \varnothing 8/300, A_{st} = 1,68 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d = h_s - (c + \varnothing_x + 0,5\varnothing_y) = 200 - (20 + 8 + 8/2) = 168 \text{ mm}$$

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \eta \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{1,68 \times 10^{-4} \cdot 434,78}{1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 20} = 0,005 \text{ m}$$

$$z_c = d - 0,5 (\lambda \cdot x) = 0,168 - 0,5 (0,8 \cdot 0,005) = 0,166 \text{ m}$$

$$m_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 1,68 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 \cdot 0,182 = 13,3 \text{ kNm}$$



Lokální oblasti, kde je vlivem krouticích momentů $E > R$, budou dovyztuženy samostatnými pruty.

Podélná výztuž ve směru x při horním povrchu

předběžný odhad výztuže $\varnothing 8$ a $\varnothing 14$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 14 + 10 = 24 \text{ mm, navrženo krytí } c = 25 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}) = \max(\max(8, 14); 10; 10) = 14 \text{ mm}$$

v celé ploše při horním líci navržena výztuž $\varnothing 8/300$, $A_{s1} = 1,68 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

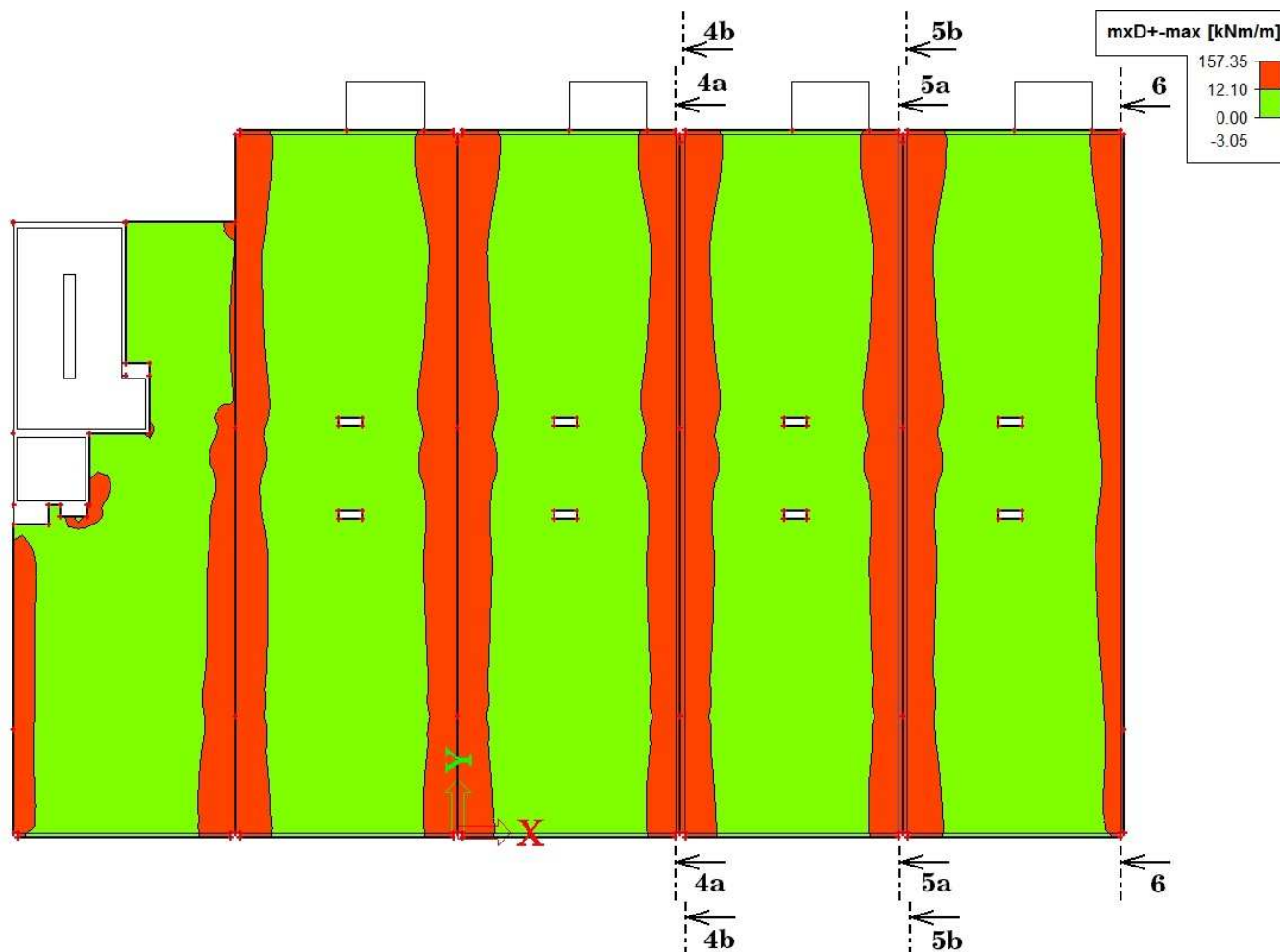
$$s_{max} = \min(2h_s; 300 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 200 = 400; 300) = 300 \text{ mm} = s$$

$$d = h_s - (c + 0,5\varnothing) = 200 - (25 + 0,5 \cdot 14) = 168 \text{ mm ...zjednodušeně v těžišti } \varnothing 14$$

$$x = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot \eta \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{1,68 \times 10^{-4} \cdot 434,78}{1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 20} = 0,005 \text{ m}$$

$$z_c = d - 0,5 (\lambda \cdot x) = 0,168 - 0,5 (0,8 \cdot 0,005) = 0,166 \text{ m}$$

$$m_{Rd,1} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_c = 1,68 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 \cdot 0,166 = 12,1 \text{ kNm}$$



Kritický návrhový moment v podpoře redukuji na moment v líci podpory viz řezy.

do tažené oblasti nad podporou přidám k rastru $\varnothing 8$ výztuž $\varnothing 14/300$, $A_{s2} = 5,13 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$$\sum A_s = A_{s1} + A_{s2} = (1,68 + 5,13) \times 10^{-4} = 6,81 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h_s = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,2 = 80,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2 > \sum A_s$$

$$A_{s,min} = \max \left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d; 0,0013 \cdot b \cdot d \right) = \max \left(0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1 \cdot 0,168; 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,168 \right)$$

$$= \max(2,53 \times 10^{-4}; 2,18 \times 10^{-4}) = 2,53 \times 10^{-4} \text{ m}^2 < \sum A_s$$

$$s_{min} = \max(1,2\varnothing; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 14 = 16,8; 37; 20) = 37 \text{ mm} < s = 150 \text{ mm}$$

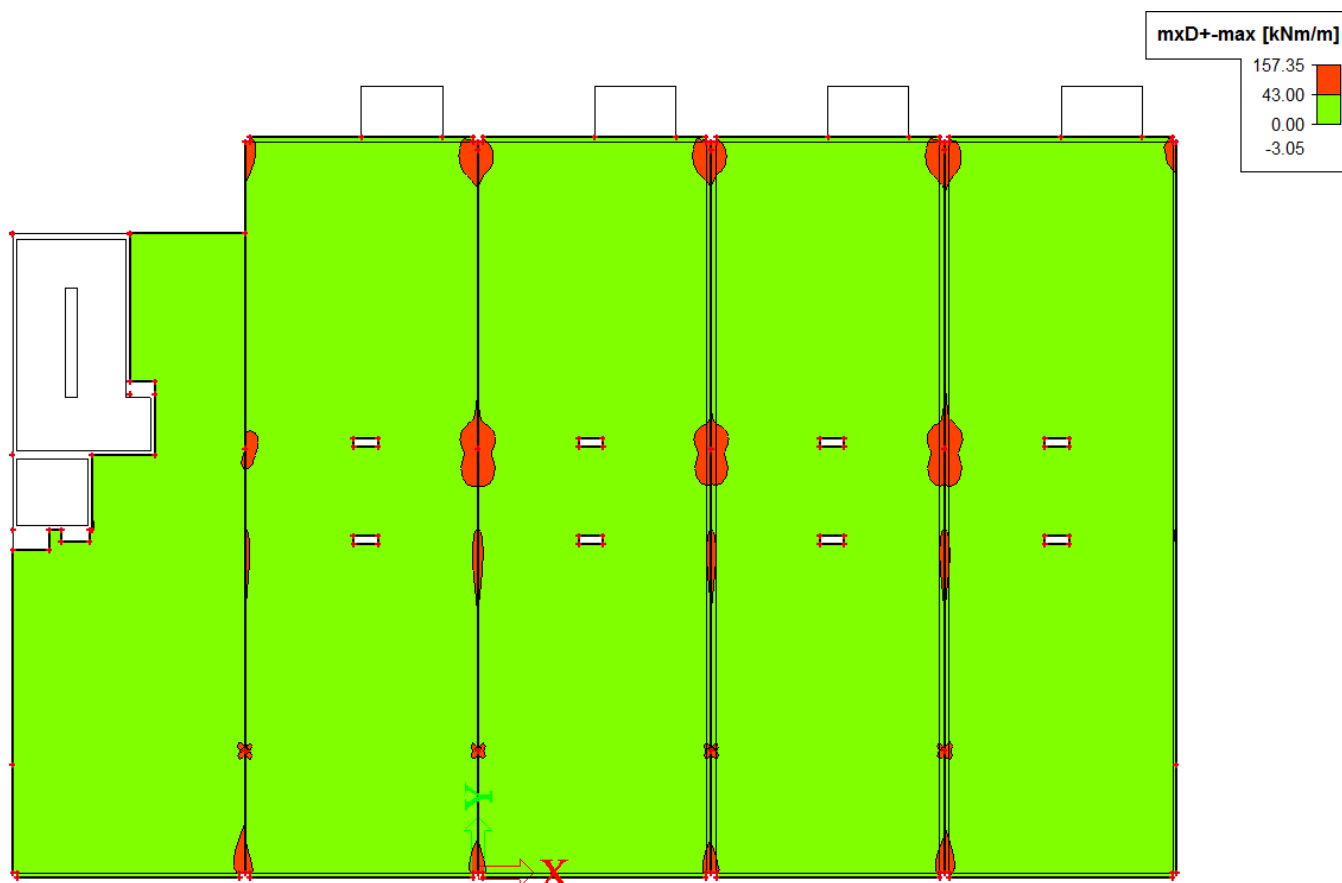
ohybová únosnost nad podporou na 1 m šířky

$$x = \frac{\sum A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \eta \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{6,81 \times 10^{-4} \cdot 434,78}{1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 20} = 0,019 \text{ m} < x_{bal,1} = \frac{|\varepsilon_{cu}| \cdot d}{\varepsilon_{yd} + |\varepsilon_{cu}|} = \frac{3,5 \cdot 0,168}{2,17 + 3,5} = 0,103 \text{ m} \Rightarrow$$

napětí ve výztuži $\sigma_s \geq f_{yd}$

$$z_c = d - 0,5 (\lambda \cdot x) = 0,168 - 0,5 (0,8 \cdot 0,019) = 0,160 \text{ m}$$

$$m_{Rd,2} = \sum A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 6,81 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 \cdot 0,160 = 43,0 \text{ kNm}$$



do oblastí nad podporami přidám navíc výztuž $\varnothing 14/300$, $A_{s3} = 5,13 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

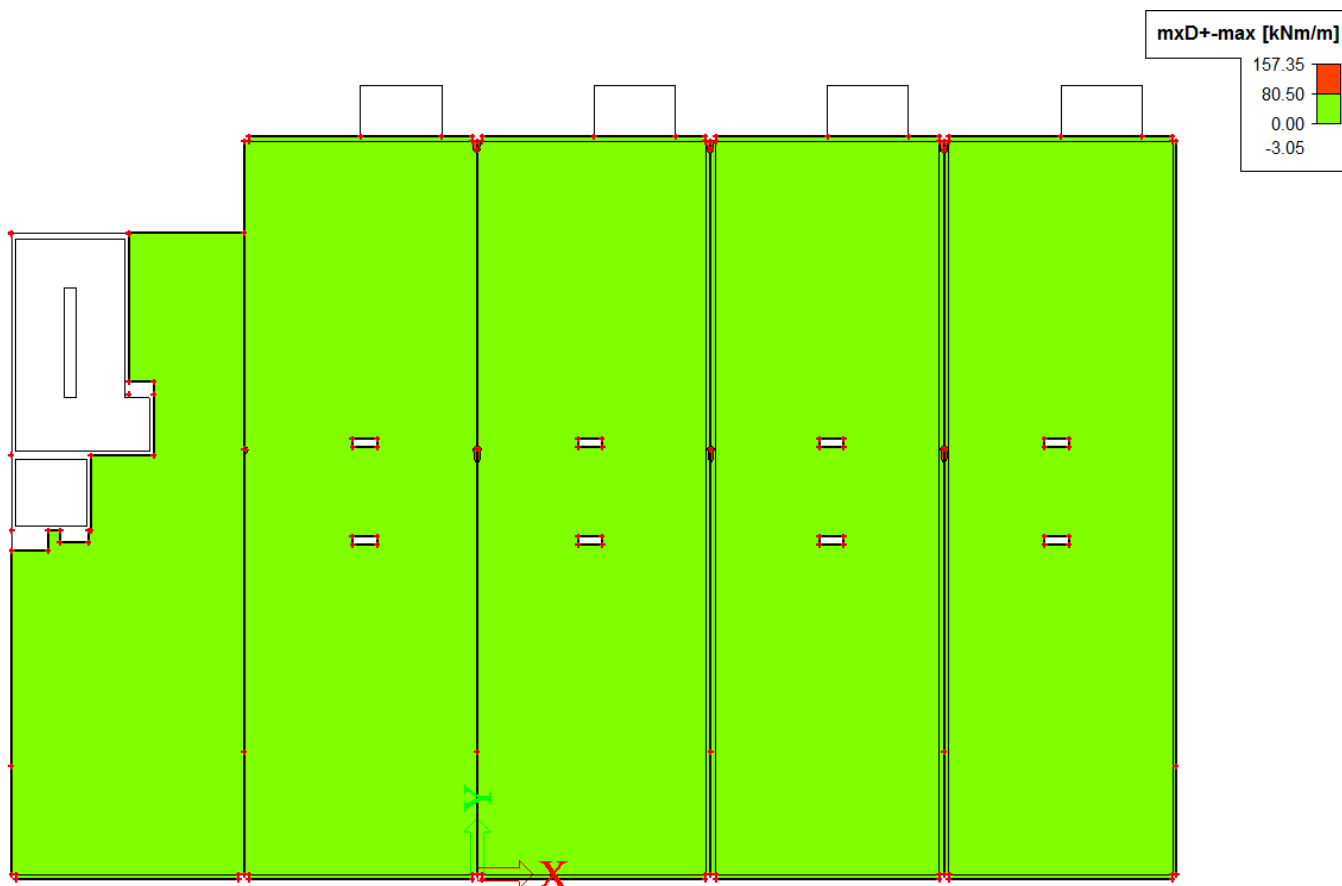
$$\sum A_{st} = A_{st1} + A_{st2} + A_{st,add} = (1,68 + 5,13 \cdot 2) \times 10^{-4} = 11,94 \times 10^{-4} \text{ m}^2 < A_{s,max} = 80,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s = 100 \text{ mm} > s_{min} = 37 \text{ mm}$$

$$x = \frac{\sum A_{st} \cdot f_{yd}}{b \cdot \eta \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{11,94 \times 10^{-4} \cdot 434,78}{1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 20} = 0,032 \text{ m}$$

$$z_c = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,168 - \frac{0,8 \cdot 0,032}{2} = 0,155 \text{ m}$$

$$m_{Rd,3} = \sum A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z_c = 11,94 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 \cdot 0,155 = 80,5 \text{ kNm}$$



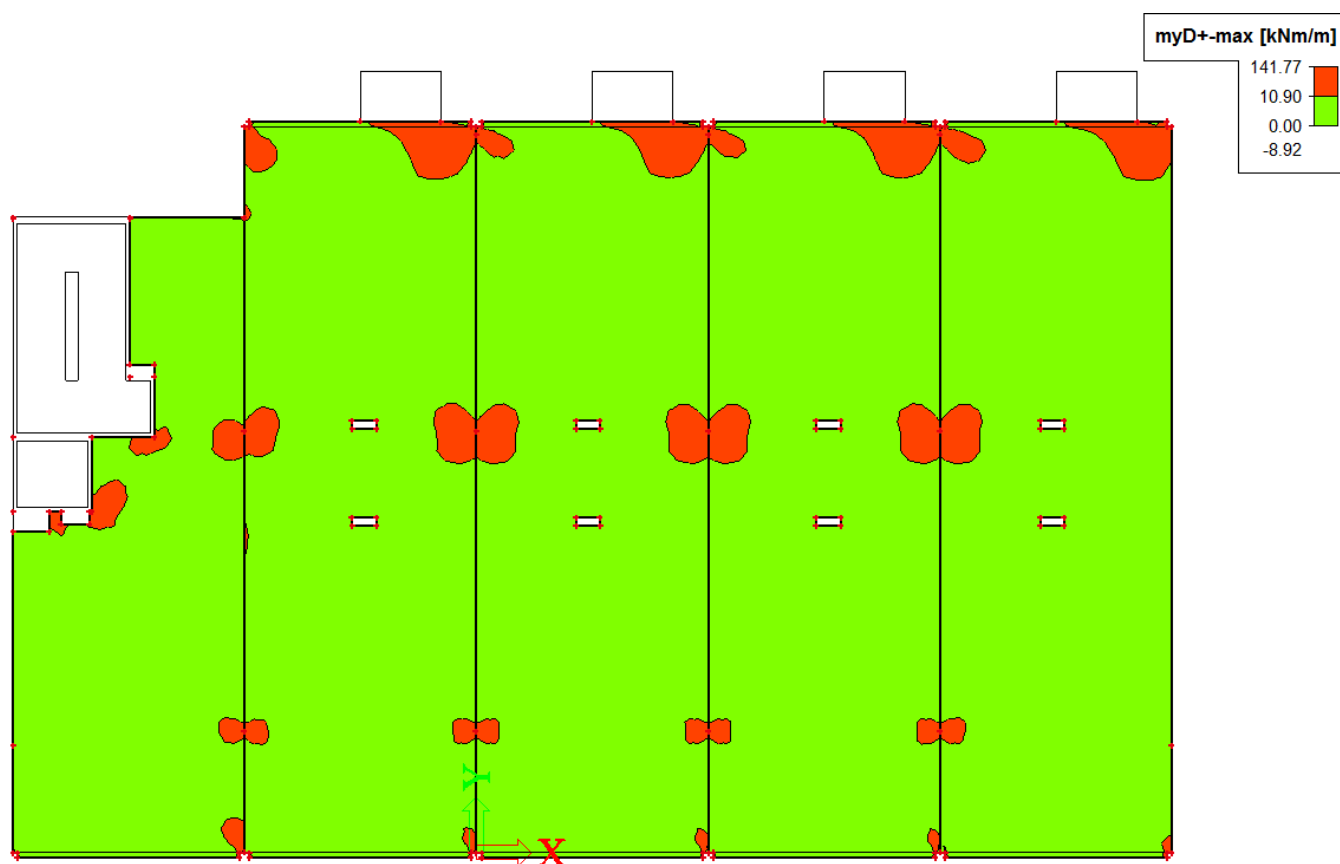
Příčná výztuž ve směru y při horním povrchu

v poli navržena výztuž $\varnothing 8/300$, $A_s = 1,68 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$$s_{max} = \min(3h_s; 400 \text{ mm}) = \min(3 \cdot 200; 400) = 400 \text{ mm} \geq s$$

$$d = h_s - (c + \varnothing_x + 0,5\varnothing_y) = 200 - (25 + 14 + 8/2) = 157 \text{ mm}$$

$$m_{Rd} \approx A_s \cdot f_{yd} \cdot 0,95d = 1,68 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 \cdot 0,95 \cdot 0,157 = 10,9 \text{ kNm}$$

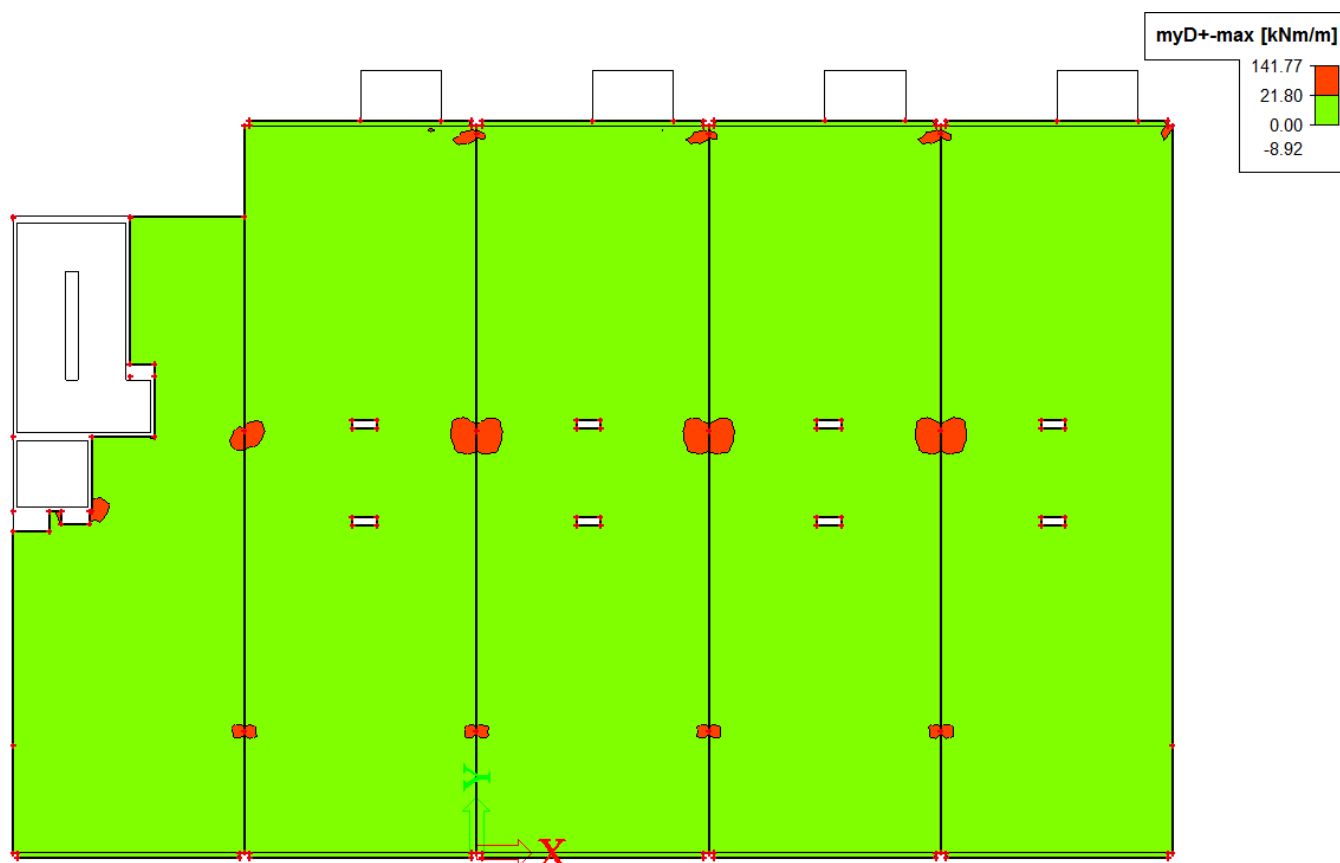


Do oblastí nad podporami a v místech napojení balkonové konzoly budou vloženy přídatné pruty.

$$A_{st,y} \geq 0,2A_{st,x} = 0,2 \cdot 11,94 \times 10^{-4} = 2,38 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Navržena přídatná výztuž $\varnothing 8/300$, $A_{s,add} = 1,68 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ k základnímu rastru

$$m_{Rd} \approx \sum A_s \cdot f_{yd} \cdot 0,95d = 3,36 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 \cdot 0,95 \cdot 0,157 = 21,8 \text{ kNm}$$



Do výztuže desky se započítá plocha spodního táhla stěnového nosníku, to pomůže redukovat zbylé nad podporové momenty ve směru y. Jelikož počítám s tím, že veškeré zatížení musí přenést stěnový nosník skrze směr x, dovolím vznik trhlin nad podporou ve směru y.

Kotvení spodní výztuže

Veškerá podélná spodní výztuž je dovedena do podpor, které jsou idealizované jako vetknutí. Stanovení návrhové kotevní délky za líc podpory dle konstrukčních zásad

$$l_{bd} \geq l_{b,min} = \max(15\phi [\text{ČSN}]; 100 \text{ mm}) = \max(15 \cdot 8 = 120; 100) = 120 \text{ mm.}$$

Příčná výztuž kolmá k volnému okraji desky bude dovedena až do konce volného okraje. Tam, kde příčná výztuž navazuje na stěnu, bude kotevní délka jako u podélné výztuže.

Stykování spodní výztuže přesahem

základní kotevní délka pro ϕ 8 (předpoklad plné využití výztuže $\sigma_{sd} = f_{yd}$)

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{8}{4} \cdot \frac{434,78}{3,0} = 290 \text{ mm}$$

kde návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti pro žebírkovou výztuž a dobré podmínky soudržnosti je $f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$

$$0,7 \leq \alpha_2 = 1 - 0,15 \frac{c - \phi}{\phi} = 1 - 0,15 \cdot \frac{20 - 8}{8} = 0,78 \leq 1,0$$

návrhová délka přesahu se určí ze vztahu

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min} = \max(0,3\alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\phi; 200 \text{ mm})$$

pro 50% prutů stykovaných přesahem v jednom řezu $\alpha_6 = 1,4$

$$l_0 = 0,78 \cdot 1,4 \cdot 290 = 320 \text{ mm} \geq l_{0,min} = \max(0,3 \cdot 1,4 \cdot 290 = 122; 15 \cdot 8 = 120; 200) = 200 \text{ mm}$$

pro 100% prutů stykovaných přesahem v jednom řezu $\alpha_6 = 1,5$

$$l_0 = 0,78 \cdot 1,5 \cdot 290 = 340 \text{ mm} \geq l_{0,min} = \max(0,3 \cdot 1,5 \cdot 290 = 131; 15 \cdot 8 = 120; 200) = 200 \text{ mm}$$

Všechna rozdělovací výztuž, která má $\phi < 20 \text{ mm}$, lze stykovat přesahem v jednom průřezu. V přesahové délce vedlejší výztuže mají být dva pruty hlavní výztuže $l_0 > 250 \text{ mm}$.

Kotvení horní výztuže

Horní výztuž bude zakotvena na vzdálenost větší, než je součet minimální kotevní délky a vzdálenosti ve které se mění polarita ohybových momentů. Tato vzdálenost zhruba odpovídá $L/3$.

základní kotevní délka pro ϕ 14 (předpoklad plné využití výztuže $\sigma_{sd} = f_{yd}$)

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{14}{4} \cdot \frac{434,78}{3,0} = 510 \text{ mm}$$

$$0,7 \leq \alpha_2 = 1 - 0,15 \frac{c - \phi}{\phi} = 1 - 0,15 \cdot \frac{25 - 14}{14} = 0,88 \leq 1,0$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\phi; 100 \text{ mm})$$

$$l_{bd} = 0,88 \cdot 510 = 450 \text{ mm} \geq l_{b,min} = \max(0,3 \cdot 510 = 153; 10 \cdot 14 = 140; 100) = 160 \text{ mm}$$

pro ϕ 8

$$l_{bd} = 0,78 \cdot 290 = 230 \text{ mm} \geq l_{b,min} = \max(0,3 \cdot 290 = 87; 10 \cdot 8 = 80; 100) = 100 \text{ mm}$$

Stykování horní výztuže přesahem

jako u stykování spodní výztuže

4.1.2 Ověření únosnosti desky na smyk

únosnost desky ve smyku bez smykové výztuže

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100\rho_l \cdot f_{ck} [\text{MPa}])^{\frac{1}{3}} \cdot b_w \cdot d = 0,12 \cdot 2,0 (100 \cdot 0,0041 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \cdot 168 = 93,07 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$v_{Rd,c} > v_{min} \cdot b_w \cdot d = 0,54 \times 10^6 \cdot 1 \cdot 0,168 = 90,72 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d [\text{mm}]}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{168}} = 2,09 < 2,0$$

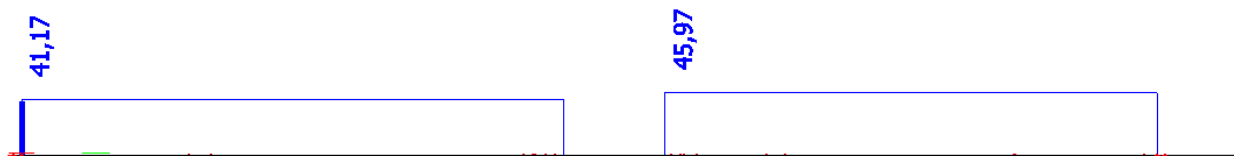
$$\rho_l = \frac{A_{sx}}{1 \text{ m} \cdot d} = \frac{(1,68 + 5,13) \times 10^{-4}}{1 \cdot 0,168} = 0,0041 < 0,02$$

kde A_{sx} je plocha horní výztuže, která zasahuje na délku $\geq (l_{bd} + d)$ za uvažovaný kritický průřez

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 2,0^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,54 \text{ MPa}$$

U prvků namáhaných převážně rovnoměrným zatížením se smí posuzovat posouvající síla až od vzdálenosti $d = 0,168 \text{ m}$ od líce podpory.

Obr. 59 Zprůměrovaný průběh návrhových v_x z obálky kombinací v lící stěnového nosníku sloupové řady 3 [kN/m]



Návrhová únosnost desky je větší, než jsou účinky zatížení.

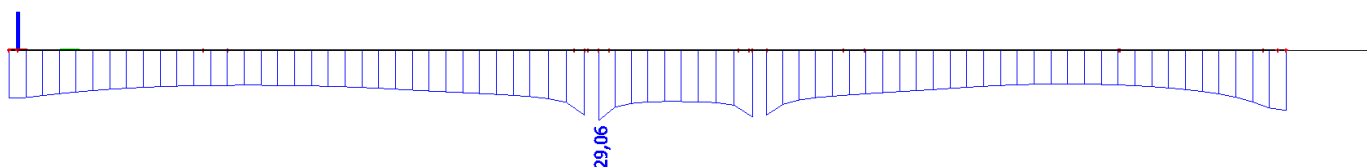
4.1.3 Posouzení na MSP – průhyb

kvazistálá kombinace vyvolující maximální průhyb

$$\sum_{j=1}^3 X_j + \psi_2 \cdot X_5 \text{ a } \sum_{j=1}^3 X_j + \psi_2 \cdot X_6; \psi_2 = 0,3 \text{ pro užité zatížení kategorie A} \quad (6.16b)$$

...kde X nahrazuje charakteristickou hodnotu kombinované veličiny daného zatěžovacího stavu

Obr. 60 Řez momenty m_{xd} v kvazistálé kombinaci uprostřed krajního pole 5-6



poměr modulů pružnosti

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200\,000}{10\,360} = 19,31$$

efektivní modul pružnosti

$$E_{c,eff} = \frac{E_c(t_0)}{1 + \varphi(t, t_0)} = \frac{33\,600}{1 + 2,244} = 10\,360 \text{ MPa}$$

sečný modul pružnosti $E_{cm} = 32\,000 \text{ MPa}$

tečnový modul pružnosti $E_c = 1,05 E_{cm} = 33\,600 \text{ MPa}$

součinitel dotvarování ($t = 50 \text{ let} = 18250 \text{ dní}; t_0 = 28 \text{ dní}; RH = 50\%$)

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0) = 2,264 \cdot 0,991 = 2,244$$

$$A_c = 0,2 \cdot 1,0 = 0,2 \text{ m}^2; u = 2 \text{ m}; h_0 = \frac{2A_c}{u} = \frac{2 \cdot 200}{2} = 200 \text{ mm}; f_{ck} = 30 \text{ MPa}; f_{cm} = 38 \text{ MPa}$$

$$\alpha_1 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7} = \left[\frac{35}{38} \right]^{0,7} = 0,944; \alpha_2 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2} = \left[\frac{35}{38} \right]^{0,2} = 0,984; \alpha_3 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,5} = \left[\frac{35}{38} \right]^{0,5} = 0,960$$

$$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \alpha_3 = 1,5 [1 + (0,012 \cdot 50)^{18}] 200 + 250 \cdot 0,9597 = 540 \leq 1500$$

$$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0,3} = \left[\frac{(18250 - 28)}{(540 + 18250 - 28)} \right]^{0,3} = 0,991$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = \frac{16,8}{\sqrt{38}} = 2,725; \beta(t_0) = \frac{1}{(0,1 + t_0^{0,20})} = \frac{1}{(0,1 + 28^{0,20})} = 0,488$$

$$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \alpha_2 = \left[1 + \frac{1 - 50/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{200}} \cdot 0,944 \right] 0,984 = 1,778$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) = 1,778 \cdot 2,725 \cdot 0,488 = 2,364$$

smršťování – cement třídy N

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = (4,07 + 0,5) \times 10^{-4} = 4,6 \times 10^{-4}$$

$$\beta_{RH} = 1,55 \left[1 - \left(\frac{RH}{100} \right)^3 \right] = 1,55 \left[1 - \left(\frac{50}{100} \right)^3 \right] = 1,356$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{cd,0} &= 0,85 \left[(220 + 110 \alpha_{ds1}) \cdot e^{\left(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{10} \right)} \right] \times 10^{-6} \cdot \beta_{RH} \\ &= 0,85 \left[(220 + 110 \cdot 4) \cdot e^{(-0,12 \frac{38}{10})} \right] \times 10^{-6} \cdot 1,356 = 4,822 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

h_0/mm	k_h
200	0,85

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}} = \frac{(18250 - 7)}{(18250 - 7) + 0,04 \sqrt{200^3}} = 0,994$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) k_h \varepsilon_{cd,0} = 0,994 \cdot 0,85 \cdot 4,822 \times 10^{-4} = 4,07 \times 10^{-4}$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - e^{-0,2t^{0,5}} = 1 - e^{-0,2 \cdot 18250^{0,5}} = 1$$

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5 (f_{ck} - 10) \times 10^{-6} = 2,5 (30 - 10) \times 10^{-6} = 5 \times 10^{-5}$$

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) = 1 \cdot 5 \times 10^{-5}$$

I) průřez neporušený trhlinami (napětí v dolních vláknech $\sigma < f_{ctm}$)

$$A_{i,I} = A_c + A_s \cdot \alpha_e = 0,2 \cdot 1 + 2 \cdot 3,35 \times 10^{-4} \cdot 19,31 = 0,213 \text{ m}^2$$

$$x_{i,I} = \frac{A_c \cdot \frac{h}{2} + \alpha_e \cdot A_{st} \cdot d}{A_i} = \frac{(0,2 \cdot 1) \cdot 0,2/2 + 19,31 \cdot 2 \cdot 3,35 \times 10^{-4} \cdot 0,176}{0,213} = 0,105 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} I_{i,I} &= \frac{1}{12} b h^3 + A_c \left(\frac{h}{2} - x_i \right)^2 + \alpha_e A_{st} (d - x_i)^2 = \\ &= \frac{1}{12} \cdot 1 \cdot 0,2^3 + (0,2 \cdot 1) \left(\frac{0,2}{2} - 0,105 \right)^2 + 19,31 \cdot 2 \cdot 3,35 \times 10^{-4} (0,176 - 0,105)^2 = \\ &= 7,37 \times 10^{-4} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

II) průřez plně porušen trhlinami (beton působí pouze v tlaku)

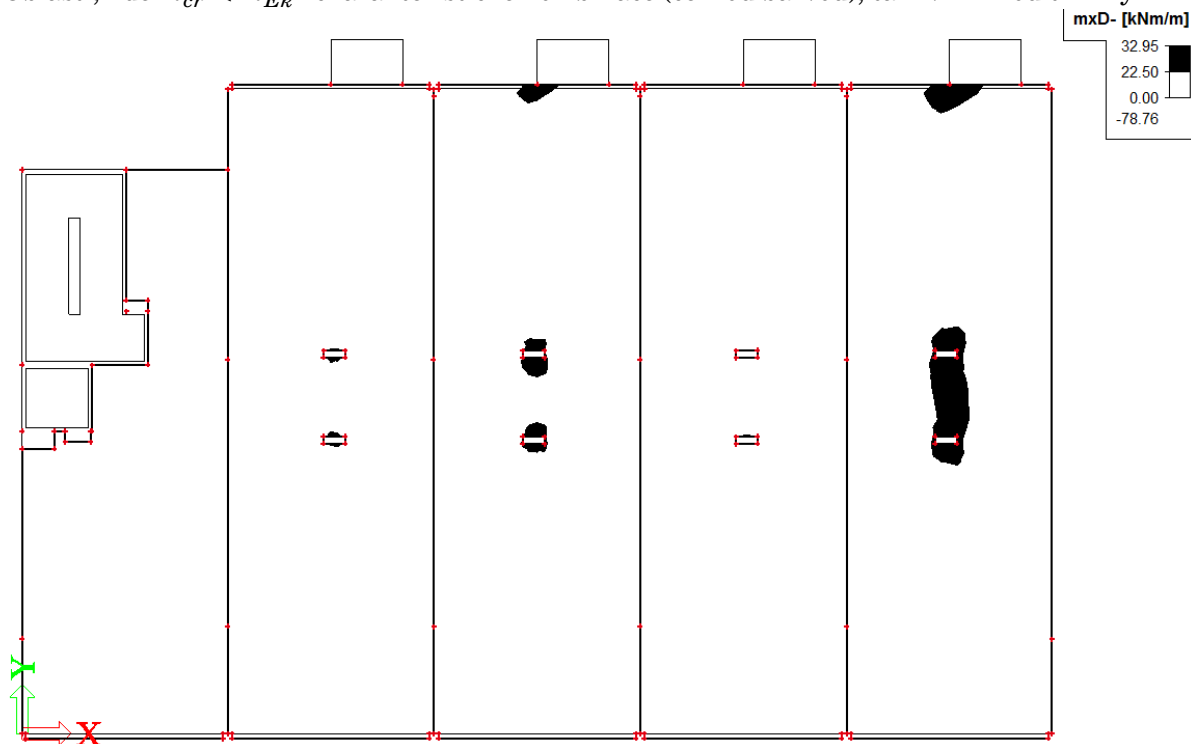
$$\begin{aligned} x_{i,II} &= \frac{\alpha_e \cdot A_{st}}{b} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 b d}{\alpha_e A_{st}}} \right) = \frac{19,31 \cdot 2 \cdot 3,35 \times 10^{-4}}{1} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 1 \cdot 0,176}{19,31 \cdot 2 \cdot 3,35 \times 10^{-4}}} \right) = \\ &= 0,056 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{i,II} &= \frac{1}{3} b x_i^3 + \alpha_e \cdot A_{st} (d - x_i)^2 = \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 0,056^3 + 19,31 \cdot 2 \cdot 3,35 \times 10^{-4} (0,176 - 0,056)^2 = \\ &= 2,45 \times 10^{-4} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

moment na mezi vzniku trhlin

$$m_{cr} = \frac{f_{ctm} \cdot I_i}{h - x_i} = \frac{2,9 \times 10^3 \cdot 7,37 \times 10^{-4}}{0,2 - 0,105} = 22,5 \text{ kNm}$$

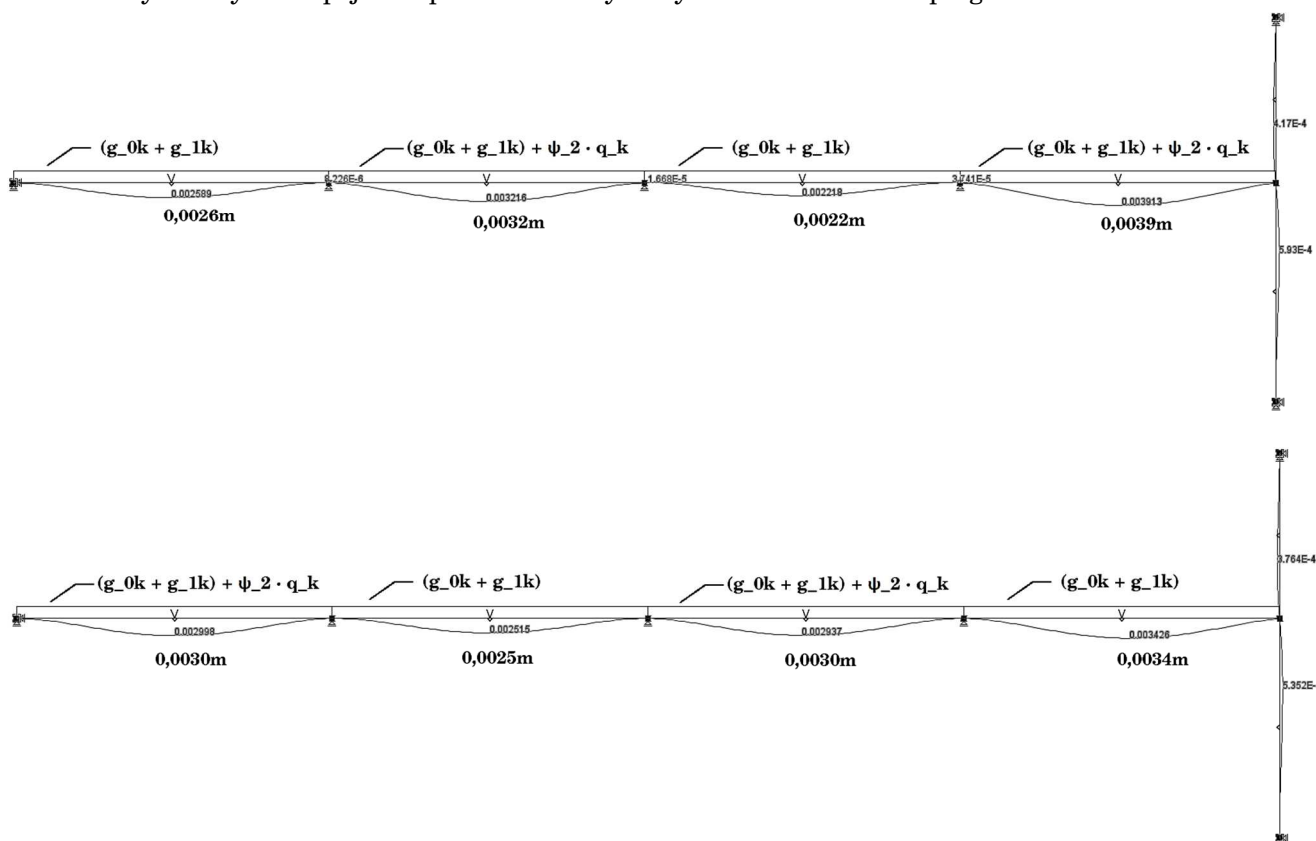
Obr. 61 Oblasti, kde $m_{cr} < m_{Ek}$ z charakteristické kombinace (černou barvou), tam vzniknou trhliny



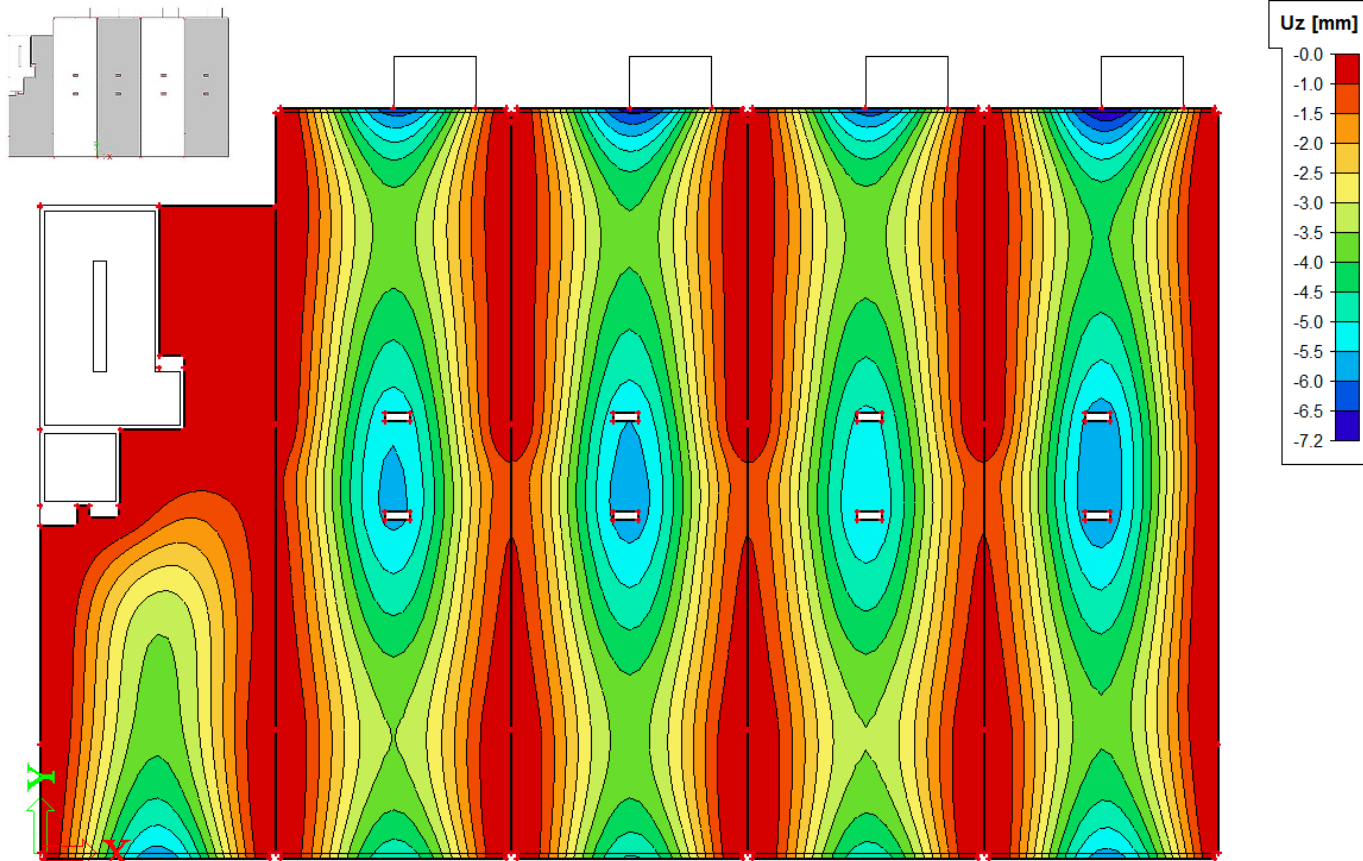
pozn. pro kvazistálou kombinaci vyjdou téměř zanedbatelné oblasti

Vzhledem k tomu, že je průřez dostatečně vyztužen, lze vznik trhlin kolem otvorů zanedbat a zjednodušeně ověřit průhyb na neporušeném průřezu s nastaveným efektivním modulem pružnosti a momentem setrvačnosti od neporušeného vyztuženého průřezu. Spojité zatížení od kvazistálé kombinace bude $f = (g_{0k} + g_{1k}) + \psi_2 \cdot q_k = (0,2 \cdot 25 \text{ kNm}^{-3} + 2,3) + 0,3 \cdot 1,5 = 7,75 \text{ kN/m}$

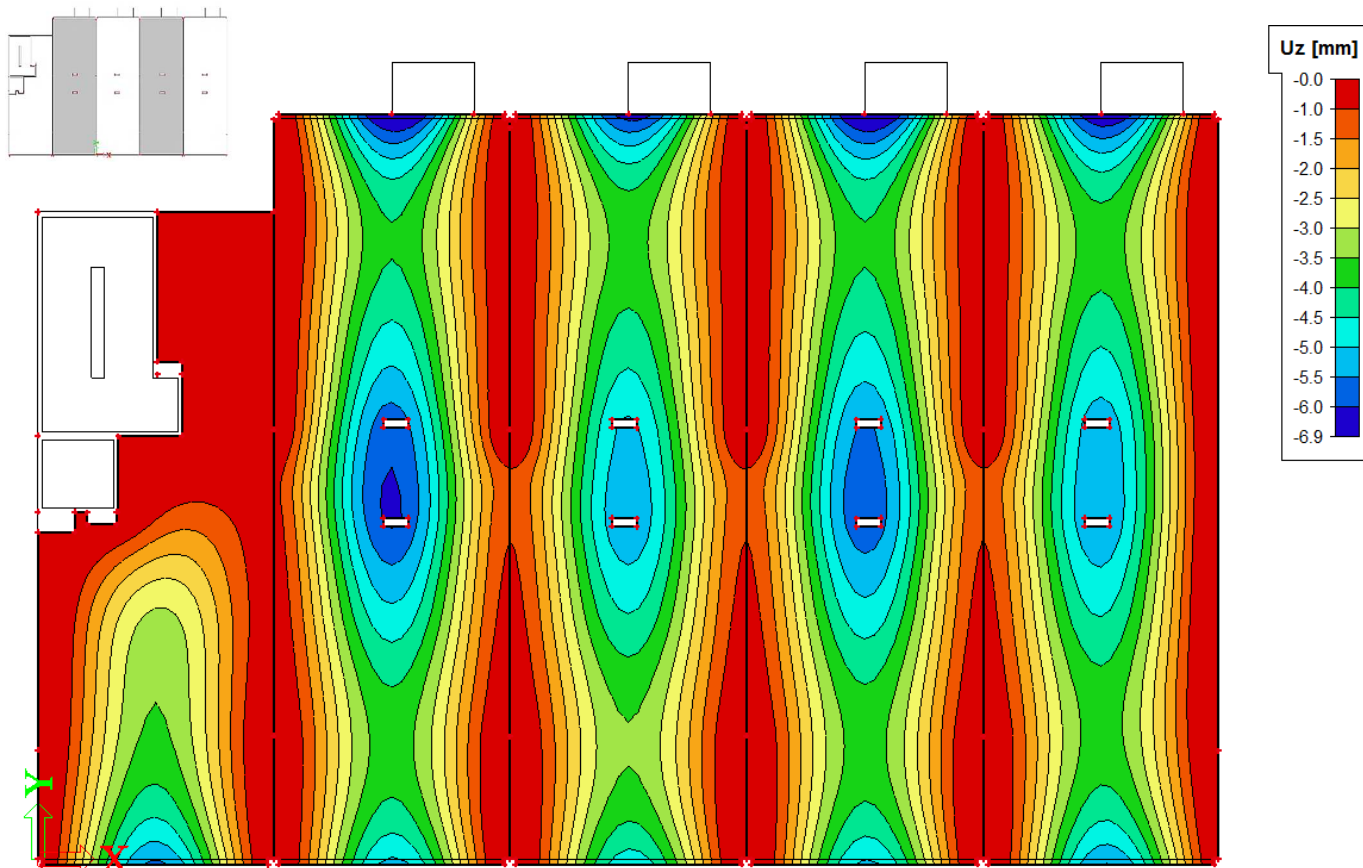
Obr. 62 Průhyb na výseku spojitě neporušené desky šířky 1 m modelované v programu Mafodem



Obr. 63 Nelineární průhyb s dotvarováním vypočtený v programu SCIA engineer (z kvazistálé komb. s DZS5)



Obr. 64 Nelineární průhyb s dotvarováním vypočtený v programu SCIA engineer (z kvazistálé komb. s DZS6)



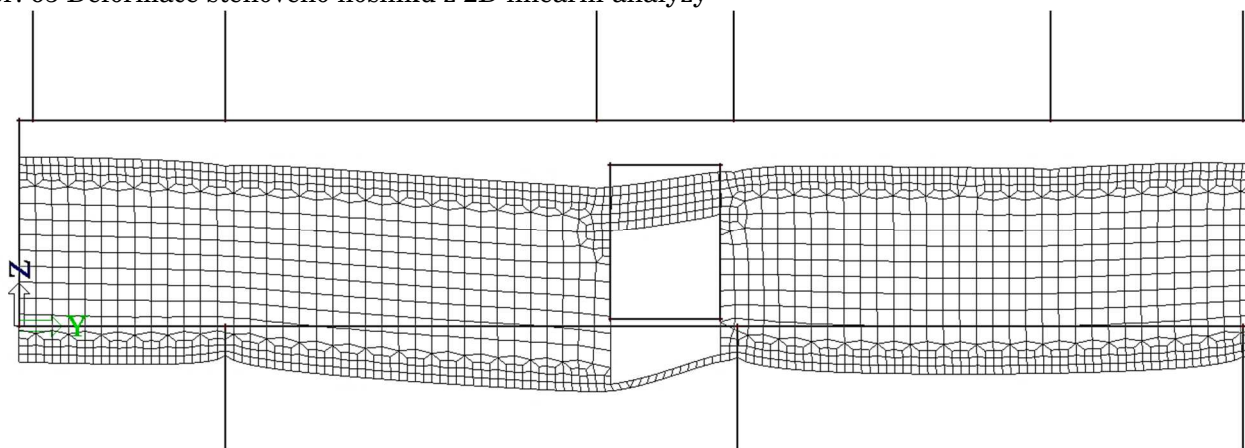
Maximální průhyb od zatížení včetně dotvarování vyztužené desky $w = 7,2$ mm. Normou přípustná velikost průhybu je $w_{lim} = l/250 = 5750/250 = 23$ mm. Průhyb od smršťování je závislý na množství výztuže u obou povrchů. Vzhledem ke kotvení horní výztuže v poli ve vzdálenosti větší jak $l/3$ od podpory, se plochy při horním a dolním líci desky na této vzdálenosti nebudou o moc lišit. Potom by došlo pouze k poměrnému zkrácení bez většího průhybu. Uprostřed pole, kde je horní povrch vyztužen jen konstrukčně, dojde k průhybu od smrštění. Předpokládám, že tato hodnota bude menší jako $\Delta w = w_{lim} - w = 23 - 7,2 = 15,8$ mm. Pak lze konstrukci prohlásit za vyhovující.

4.2 Dimenzování stěnového nosníku

Ve 2.NP byl navržen spojitý stěnový nosník, který je celý uvažován jako poruchová oblast. Kromě spojitého zatížení od připojených stropních desek je stěnový nosník u horního i dolního okraje namáhán velkým počtem soustředěných zatížení (sloupů), jejichž počet převyšuje počet podpor (sloupů 1.NP). Dále je zde dispoziční požadavek na otvor pro komunikační prostor. Z těchto důvodů nelze při návrhu výztuže vycházet ze zjednodušených empirických vzorců pro stěnové nosníky a je nutné vytvořit zvláštní model příhradové analogie.

Pro návrh modelu náhradní příhradoviny vyjdu z lineárně pružného 2D řešení MKP. Poloha a směr prutů (uzlů) jsou stanoveny z průběhu trajektorií (izoploch) hlavních napětí a s ohledem na ortogonální směr vyztužení. Vnější síly jsou vnášeny do výpočetního modelu pouze v uzlech. U nepřímo zatíženého stěnového nosníku je v příhradovém modelu nutné vynést zatížení táhly do styčnicku tlačných vzpěr. Zatížení od sloupů vyšších podlaží násobně převyšuje zatížení od desek připojených podlaží, náhradní model to reflektuje.

Obr. 65 Deformace stěnového nosníku z 2D lineární analýzy



V deformaci reálné konstrukce lze najít podobnost s Gerberovým nosníkem, kde pravá část nosníku působí jako prostý nosník s převislým koncem nad otvorem a kde v místě působení osamělého břemena vzniká plastický kloub, přes který je připojena levá část s konzolovým vyložení. Je zřejmé, že kritické místo pro posouzení nosníku bude pod sloupem oslabené části, resp. v celém oslabení.

Monolitické spojení mezi sloupy a nosníkem vykazuje jistou tuhost v pootočení a vodorovném posunutí, pro zjednodušení uvažuji s jednou kloubovou a dvěma posuvnými podporami. Navržená příhradová soustava je tvořena z $p = 50$ prutů, $b = 27$ uzlů, $a = 4$ složky reakcí vnějších vazeb. Příhradovina je podle rovnice $2b = p + a$ staticky určitá, při určování vnitřních sil nebude záležet na průřezových charakteristikách prvků.

Nejprve odhadnu ramena vnitřních sil, vzdálenosti horního tlačného a tažených prutů (těžiště tažené výztuže nad otvorem a dolního táhla ve stropní desce), na vzdálenost 100 mm od hrany. Z tohoto zkušebnímu modelu získám normálové síly ve vzpěrách a táhlech. Porovnáním vypočtených napětí s návrhovými napětími v uzlech zjistím rozměr horní vodorovné vzpěry. Zvolím plochy betonářské výztuže odpovídající požadované únosnosti táhla. Podle potřebné geometrie uzlových bodů upravím výpočetní model. Takto iterované síly použiji pro posouzení uzlů a vzpěr.

Zjednodušené zatížení působící na stěnový nosník ve střednici připojených desek

Vlastní tíha nosníku tl. 250 mm byla z poloviny jeho výšky převedena na spojitě zatížení k hornímu a druhá polovina k dolnímu okraji:

$$g_{0k,1a} = 1,4 \cdot 0,25 \cdot 25 = 8,8 \text{ kNm}^{-1}$$

$$g_{0k,1b} = 0,55 \cdot 0,25 \cdot 25 = 3,4 \text{ kNm}^{-1}$$

Vlastní tíha ŽB stropních desek ze zatěžovací šířky 5,75 m (modulová vzdálenost nosníků)

$$g_{0k,2} = 5,75 \cdot 0,2 \cdot 25 = 28,8 \text{ kNm}^{-1}$$

Ostatní stálé zatížení:

$$g_{1k,a} = 5,75 \cdot 2,3 = 13,2 \text{ kNm}^{-1} \text{ (podlaha chodba)}$$

$$g_{1k,b} = (5,75 - 0,25) \cdot 2,3 = 12,7 \text{ kNm}^{-1} \text{ (podlaha pokoje spodní okraj)}$$

$$g_{1k,c} = (5,75 - 0,25) \cdot 2,3 + 7,8 = 20,5 \text{ kNm}^{-1} \text{ (AKU dělicí stěna + podlaha pokoje horní okraj)}$$

$$F_{k,příčka} = (5,75 - 0,25) \cdot 3,9 = 21,5 \text{ kN}$$

$$F_{k,AKU} = (5,75 - 0,25) \cdot 8,8 = 48,4 \text{ kN}$$

$$F_{k,plášť} = ((5,75 - 0,25) - 2) \cdot 7,7 = 27,0 \text{ kN}$$

$$G_{k,balkón} = 2 \cdot 10,5 = 21,0 \text{ kN}$$

Užitné zatížení

$$q_k = 5,75 \cdot 5,0 = 28,8 \text{ kNm}^{-1} \text{ (chodba)}$$

$$q_k = (5,75 - 0,25) \cdot 1,5 = 8,3 \text{ kNm}^{-1} \text{ (pokoje)}$$

$$Q_{k,balkón} = 2 \cdot 4,05 = 8,1 \text{ kN}$$

Předpokládám vyvození maximálního zatížení z kombinace 6.10a.

N_d ...síla v patě sloupu od vyšších NP

uzel a

$$F_d = 1,35 \cdot (2 \times (3 \cdot 8,8 + 3,125 \cdot 28,8) + 2,875 \cdot (20,5 + 12,7) + 2 \times 27) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 2 \times (2,875 \cdot 8,3) = 567 \text{ kN}; N_d = 316 \text{ kN}$$

uzel b

$$F_d = 1,35 \cdot (1,35 \cdot (8,8 + 28,8 + 20,5)) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (1,35 \cdot 8,3) = 118 \text{ kN}; N_d = 1034 \text{ kN}$$

uzel c

$$F_d = 1,35 \cdot (2,7 \cdot (8,8 + 28,8 + 20,5) + 21,5) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (2,7 \cdot 8,3) = 265 \text{ kN}$$

uzel d

$$F_d = 1,35 \cdot (1,55 \cdot 8,8 + 0,8 \cdot 3,4 + 2,35 \cdot 28,8 + 1,3 \cdot 20,5 + 0,8 \cdot 13,2 + 48,4) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (1,3 \cdot 8,3 + 0,8 \cdot 28,8) = 265 \text{ kN}; N_d = 900 \text{ kN}$$

uzel h

$$F_d = 1,35 \cdot (1,1 \cdot 8,8 + 0,8 \cdot 3,4 + 1,9 \cdot 28,8 + 0,85 \cdot 20,5 + 0,8 \cdot 13,2 + 48,4) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (0,85 \cdot 8,3 + 0,8 \cdot 28,8) = 226 \text{ kN}; N_d = 1184 \text{ kN}$$

uzel i

$$F_d = 1,35 \cdot (2,3 \cdot (8,8 + 28,8 + 20,5) + 21,5) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (2,3 \cdot 8,3) = 230 \text{ kN}$$

uzel j

$$F_d = 1,35 \cdot (2,8 \cdot (8,8 + 28,8 + 20,5)) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (2,8 \cdot 8,3) = 244 \text{ kN}; N_d = 865 \text{ kN}$$

uzel k

$$F_d = 1,35 \cdot (1,6 \cdot 8,8 + 1,725 \cdot 28,8 + 1,475 \cdot 20,5 + 48) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (1,475 \cdot 8,3 + 8,1) = 213 \text{ kN}; N_d = 380 \text{ kN}$$

uzel l

$$F_d = 1,35 \cdot (1,35 \cdot (8,8 + 28,8 + 12,7)) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (1,35 \cdot 8,3) = 104 \text{ kN}$$

uzel m

$$F_d = 1,35 \cdot (2,7 \cdot (8,8 + 28,8 + 12,7) + 21,5) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (2,7 \cdot 8,3) = 236 \text{ kN}$$

uzel n

$$F_d = 1,35 \cdot (1,55 \cdot 8,8 + 2,35 \cdot 28,8 + 1,3 \cdot 12,7 + 0,8 \cdot 13,2 + 48,4) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (1,3 \cdot 8,3 + 0,8 \cdot 28,8) = 248 \text{ kN}$$

uzel o

$$F_d = 1,35 \cdot (1,1 \cdot 8,8 + 1,9 \cdot 28,8 + 0,85 \cdot 12,7 + 0,8 \cdot 13,2 + 48,4) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (0,85 \cdot 8,3 + 0,8 \cdot 28,8) = 213 \text{ kN}$$

uzel p

$$F_d = 1,35 \cdot (2,3 \cdot (8,8 + 28,8 + 12,7) + 21,5) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (2,3 \cdot 8,3) = 205 \text{ kN}$$

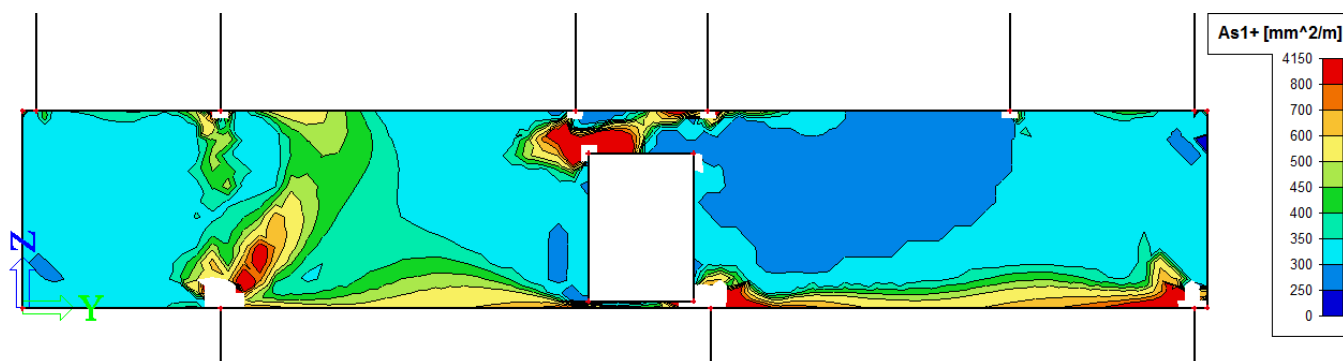
uzel q

$$F_d = 1,35 \cdot (2,8 \cdot (8,8 + 28,8 + 12,7)) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (2,8 \cdot 8,3) = 215 \text{ kN}$$

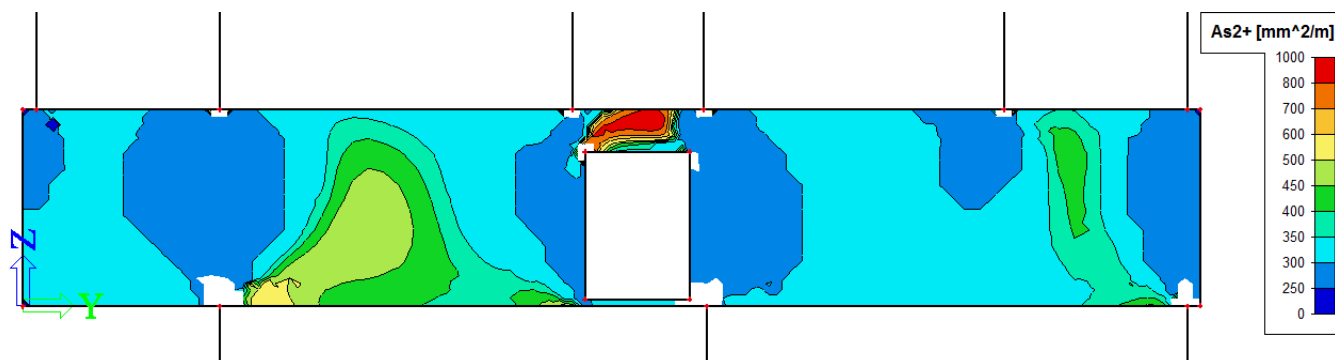
uzel r

$$F_d = 1,35 \cdot (1,6 \cdot 8,8 + 1,725 \cdot 28,8 + 1,475 \cdot 12,7 + 48) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (1,475 \cdot 8,3 + 8,1) = 198 \text{ kN}$$

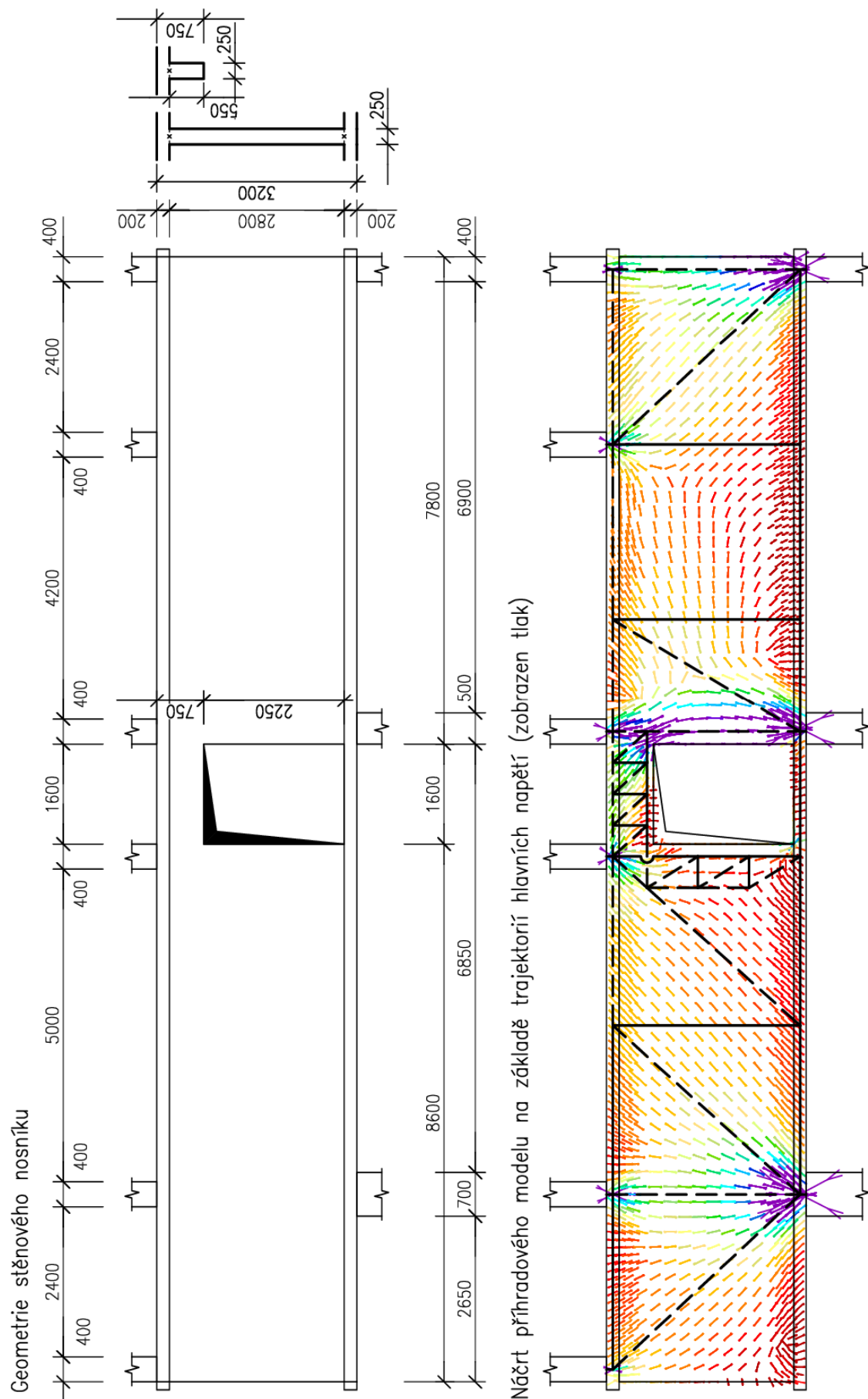
Obr. 66 Nutná plocha výztuží navržená na obálku sil v programu SCIA engineer (směr 1 = y)



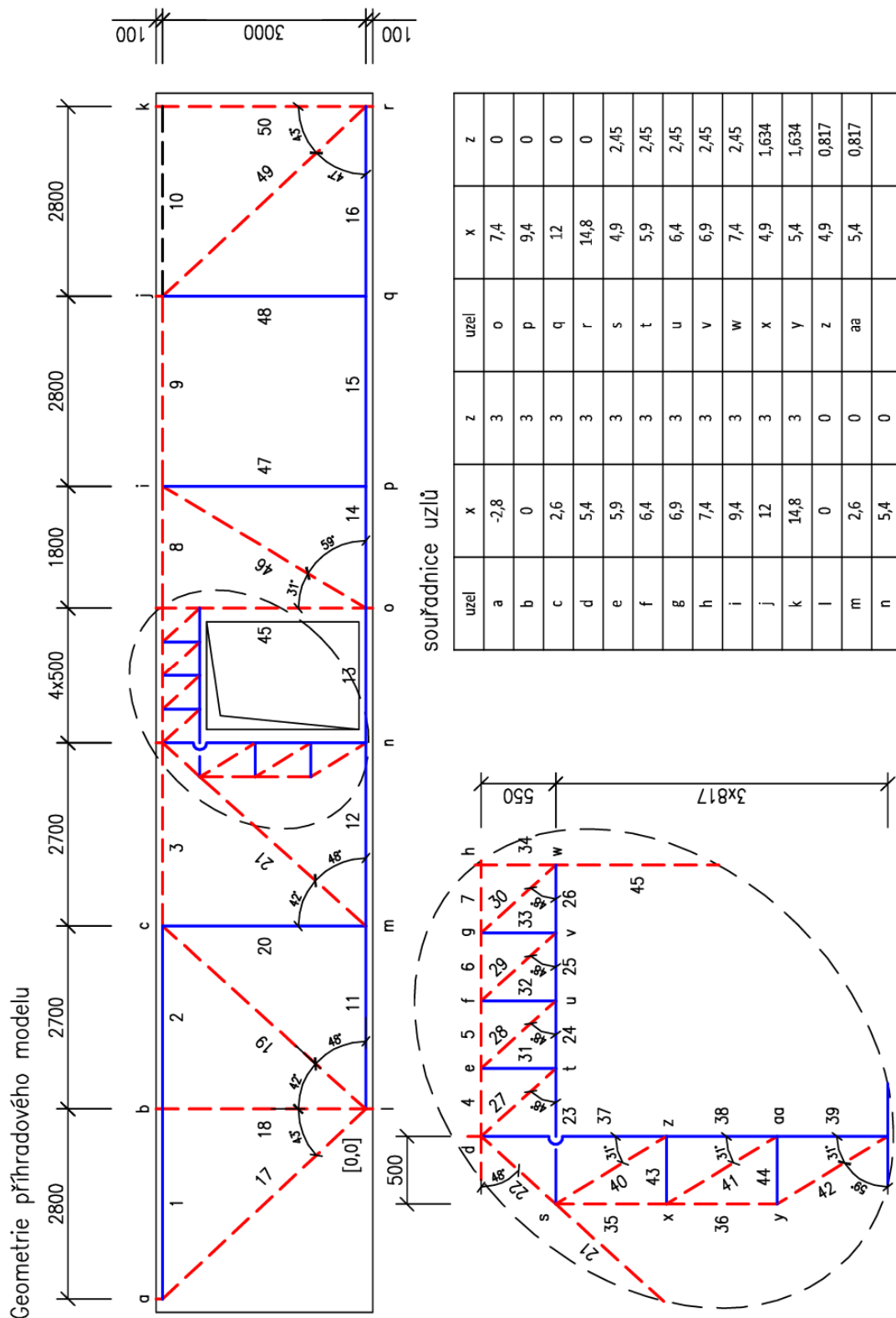
Obr. 67 Nutná plocha výztuží navržená na obálku sil v programu SCIA engineer (směr 2 = z)



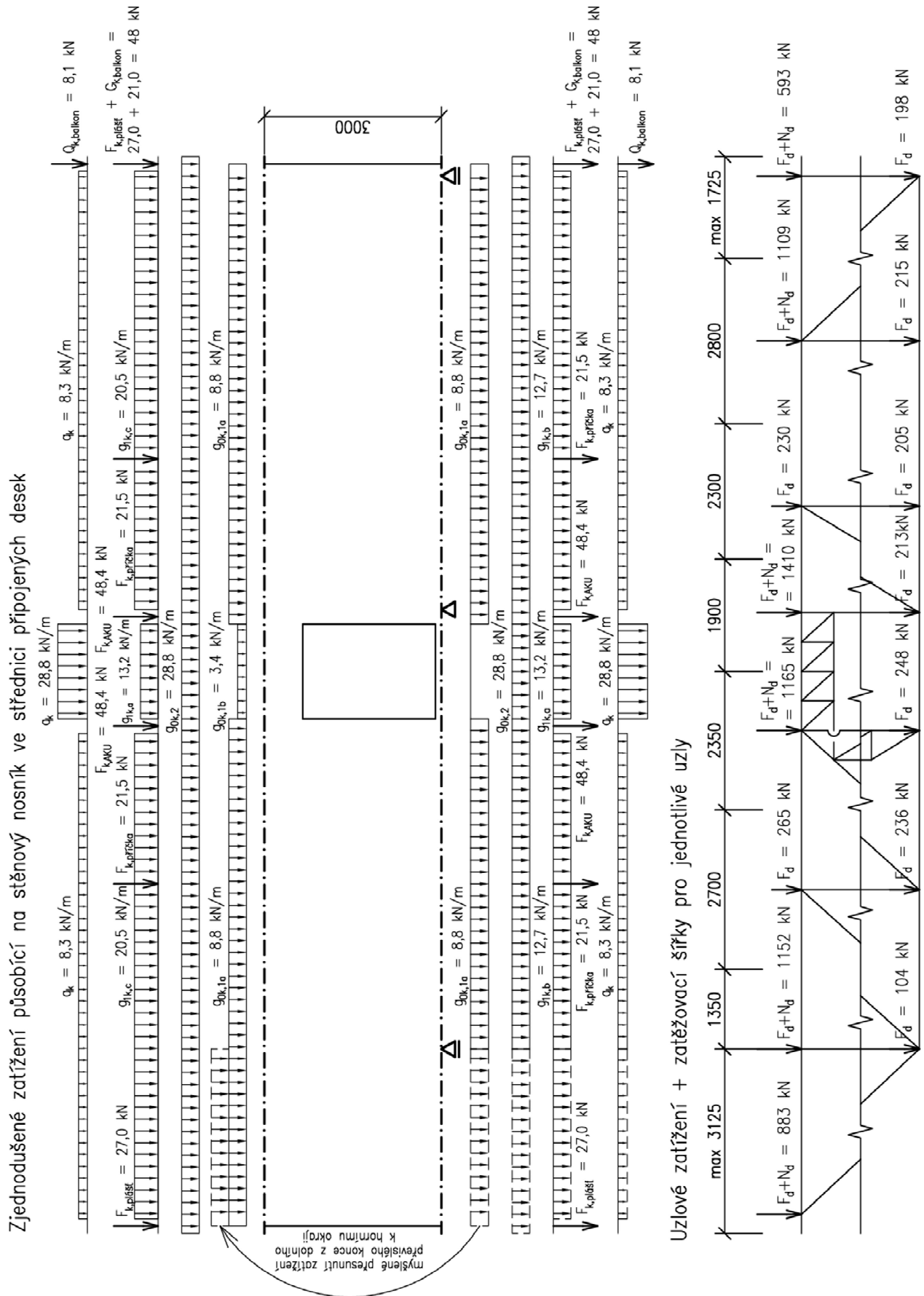
Obr. 68 Rozměry nosníku + výsledky lineární analýzy a z ní odvozený model náhradní příhradoviny



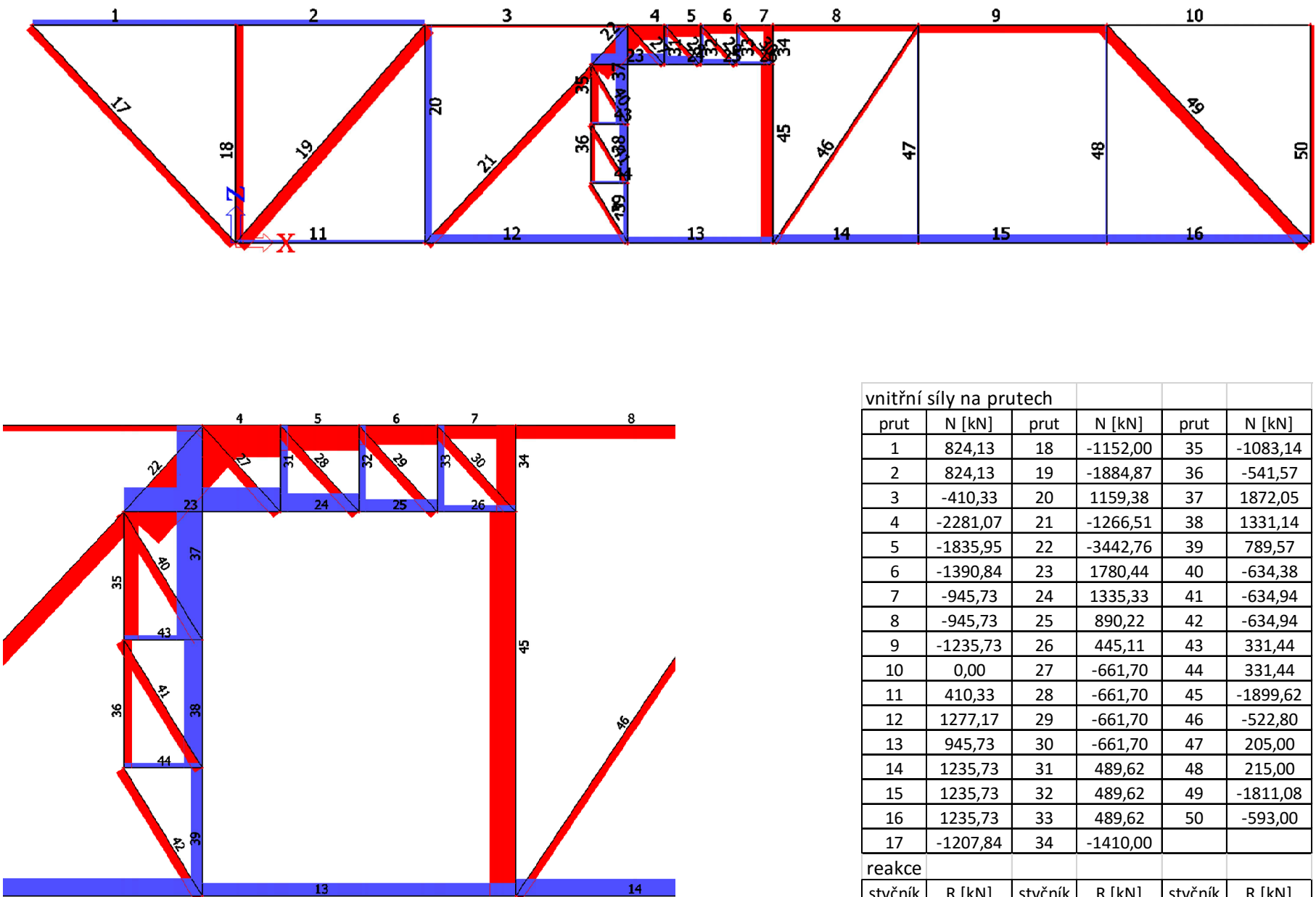
Obr. 69 Výchozí příhradový model



Obr. 70 Zatížení stěnového nosníku a diskretizace zatížení do uzlů (zahrnuje vlastní tíhu)



Obr. 71 Návrhové normálové síly na prutech odhadnutého modelu



vnitřní síly na prutech					
prut	N [kN]	prut	N [kN]	prut	N [kN]
1	824,13	18	-1152,00	35	-1083,14
2	824,13	19	-1884,87	36	-541,57
3	-410,33	20	1159,38	37	1872,05
4	-2281,07	21	-1266,51	38	1331,14
5	-1835,95	22	-3442,76	39	789,57
6	-1390,84	23	1780,44	40	-634,38
7	-945,73	24	1335,33	41	-634,94
8	-945,73	25	890,22	42	-634,94
9	-1235,73	26	445,11	43	331,44
10	0,00	27	-661,70	44	331,44
11	410,33	28	-661,70	45	-1899,62
12	1277,17	29	-661,70	46	-522,80
13	945,73	30	-661,70	47	205,00
14	1235,73	31	489,62	48	215,00
15	1235,73	32	489,62	49	-1811,08
16	1235,73	33	489,62	50	-593,00
17	-1207,84	34	-1410,00		
reakce					
stýčník	R [kN]	stýčník	R [kN]	stýčník	R [kN]
l	3563,38	o	2547,62	r	2115,00

Vzpěry, táhla, uzly jsou navrženy tak, aby napětí od účinků zatížení nepřekročilo pevnostní kritéria daná dolní mezní únosností vyplývající z teorie plasticity. V táhlech je dosaženo meze kluzu výztuže před vyčerpáním pevnosti betonových vzpěr. Působení betonu v tahu se zanedbává.

Vzpěra reprezentuje výslednici pole tlakových napětí. Při posouzení se napětí ve vzpěře předpokládá po celém průřezu konstantní, model je pro výpočet složen z prismatických vzpěr. Diagonální vzpěry jsou obecně rovnoběžné s očekávaným průběhem trhlin v betonovém prvku. Betonové vzpěry náhradní příhradoviny se v EC2 rozlišují podle působícího příčného napětí:

- tlačené pruty bez působícího příčného napětí,
- tlačené pruty s působícím příčným tlakovým napětím,
- tlačené pruty s příčným tahovým napětím.

Návrhové napětí na mezi únosnosti pro tlačené betonové pruty v oblasti s příčným tlakovým napětím, nebo bez příčného tlakového napětí se stanoví ze vztahu $\sigma_{Rd,max} = f_{cd} = 20 \text{ MPa}$.

Návrhové napětí na mezi únosnosti pro tlačené betonové pruty v oblastech s příčným tahem a trhlinami je nutné redukovat. Pokud se nepoužije přesnější výpočet, lze návrhovou pevnost uvažovat dle vztahu

$$\sigma_{Rd,max} = 0,6 \cdot \nu' \cdot f_{cd} = 0,6 \cdot 0,88 \cdot 20 = 10,6 \text{ MPa, kde } \nu' = 1 - \frac{f_{ck} [\text{MPa}]}{250} = 1 - \frac{30}{250} = 0,88.$$

Táhla jsou v modelu náhradní příhradoviny představována výztuží. Táhla představují výztužné pruty, jejich celková šířka se obvykle zvětšuje o dvojnásobek krycí vrstvy nebo o polovinu vzdálenosti mezi další výztuží. Při sestavování výpočetního příhradového modelu se uvažuje táhlo ve výsledné střednici skupiny výztužných prutů.

Styčníky jsou klasifikovány dle působících sil:

- ve styčníku s označením CCC působí nejméně tři tlakové betonové vzpěry,
- ve styčníku CCT působí nejméně dva tlakové pásy a jeden tažený pás představovaný výztuží,
- ve styčníku CTT působí jeden tlakový pás a dva tažené pásy.

Návrhové hodnoty pro tlaková napětí na mezi únosnosti, která mohou působit na hranách styčníku:

styčníky s tlakovými silami (CCC)

$$\sigma_{Rd,max} = 1,0 \cdot \nu' \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,88 \cdot 20 = 17,6 \text{ MPa}$$

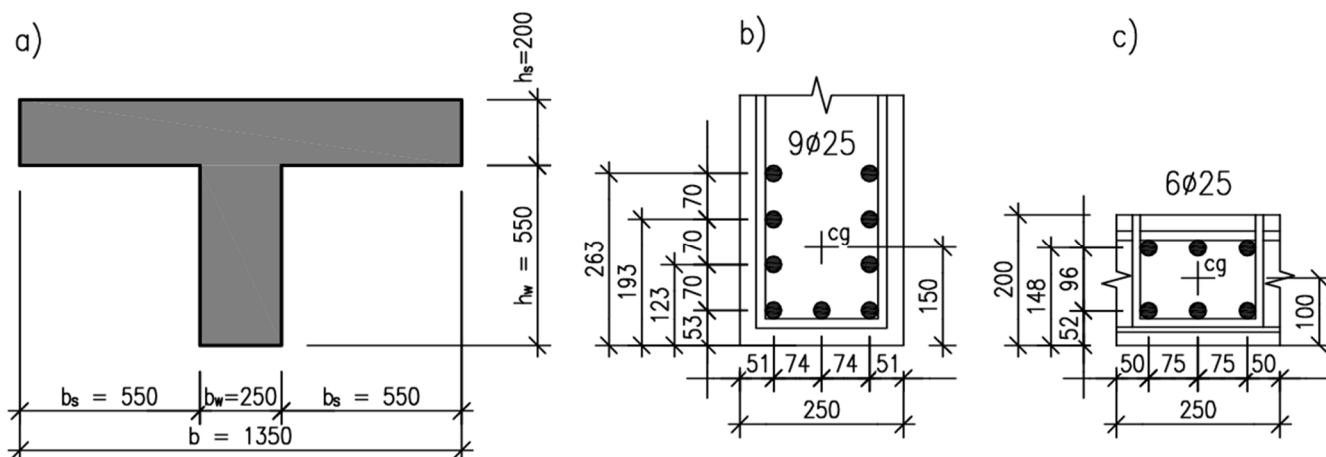
styčníky s tlakovými i tahovými silami s táhly kotvenými v jednom směru (CCT)

$$\sigma_{Rd,max} = 0,85 \cdot \nu' \cdot f_{cd} = 0,85 \cdot 0,88 \cdot 20 = 15,0 \text{ MPa}$$

Styčníky s tlakovými i tahovými silami s táhly kotvenými ve více směrech (CTT)

$$\sigma_{Rd,max} = 0,75 \cdot \nu' \cdot f_{cd} = 0,75 \cdot 0,88 \cdot 20 = 13,2 \text{ MPa}$$

Obr. 72 a) spolupůsobící šířka desky se stěnovým nosníkem, b) schéma uspořádání výztuže v táhle u spodního okraje v místě zeslabení nosníku otvorem, c) schéma uspořádání výztuže v táhle umístěném ve stropní desce



Vnitřní síly v příhradovém modelu jsou získány ze zatížení celé konstrukce, proto při návrhu horního tlačného pásu budu uvažovat se „spolupůsobící šířkou“ dle zbytkové ČSN 73 1201, která se používá při zohlednění tuhosti prvků, oproti EC2 vyjde spolupůsobící šířka menší velikosti.

$$b_s = \min(h_w; 4h_s) = \min(550; 4 \cdot 200 = 800) = 550 \text{ mm}; b = b_w + 2b_s = 0,25 + 2 \cdot 0,55 = 1,35 \text{ m}$$

Zvolení plochy výztuže odpovídající požadované únosnosti nejvíce namáhaných táhel

táhlo 23

$$A_{s,req} = \frac{N_{23}}{f_{yd}} = \frac{1780,44}{434,78 \times 10^3} = 40,95 \times 10^{-4} \text{ m}^2 > A_{s,prov} = 44,18 \times 10^{-4} \text{ m}^2 (9\phi 25)$$

krytí hlavní výztuže

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}) = \max(25; 10; 10) = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

krytí třmínek v místě zúžení *odhad* $\phi 14$

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}) = \max(14; 10; 10) = 14 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 14 + 10 = 24 \text{ mm}$$

navrženo třmínek $c = 25 \text{ mm}$, pak krytí hlavní výztuže $c = 25 + 14 = 39 \text{ mm}$

v místě zeslabení platí konstrukční zásady pro 1D nosník

$$A_{s,min} = \max\left(0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_w d; 0,0013 b_w d\right) = \max\left(0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 0,25 \cdot 0,617; 0,0013 \cdot 0,25 \cdot 0,617\right) = \\ = \max(2,33 \times 10^{-4}; 2 \times 10^{-4}) = 2,33 \times 10^{-4} \text{ m}^2 < A_{s,prov} = 44,18 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b_w \cdot h = 0,04 \cdot 0,25 \cdot 0,75 = 75,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2 > A_{s,prov} = 44,18 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s_{min} = \max(1,2\phi; d_g + 5; 20) = \max(1,2 \cdot 25 = 30; 32 + 5 = 37; 20) = 37 \text{ mm} < s$$

nová osa taženého prutu = vzdálenost těžiště výztuží nad hranou otvoru

$$d_1 = \frac{3 \cdot 53 + 2 \cdot 123 + 2 \cdot 193 + 2 \cdot 263}{9} \cong 150 \text{ mm} \Rightarrow d = h - d_1 = 750 - 150 = 600 \text{ mm}$$

I když se tahová síla v táhlech 23-26 postupně zmenšuje a bylo by možné postupně ubrat počet prutů, bude po celé délce oslabení vedeno všech 9 ϕ 25, ve kterých se bude postupně snižovat napětí.

základní kotevní délka pro ϕ 25 (vlevo od otvoru) (předpoklad plné využití výztuže $\sigma_{sd} = f_{yd}$)

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{25}{4} \cdot \frac{434,78}{2,1} \approx 1300 \text{ mm}$$

kde návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti pro žebříkovou výztuž a špatné podmínky soudržnosti je $f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 2,1 \text{ MPa}$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\phi; 100 \text{ mm})$$

$$l_{bd} = 1,0 \cdot 1300 = 1300 \text{ mm} \geq l_{b,min} = \max(0,3 \cdot 1300 = 390; 10 \cdot 25 = 250; 100) = 390 \text{ mm}$$

základní kotevní délka pro ϕ 25 (vpravo od otvoru) ($\sigma_{sd} = \frac{N_{26}}{A_s} = \frac{445,1 \times 10^3}{44,18 \times 10^{-4}} = 100 \text{ MPa}$)

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{25}{4} \cdot \frac{100}{2,1} \approx 300 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\phi; 100 \text{ mm})$$

$$l_{bd} = 1,0 \cdot 300 = 300 \text{ mm} \geq l_{b,min} = \max(0,3 \cdot 300 = 90; 10 \cdot 25 = 250; 100) = 250 \text{ mm}$$

smyková výztuž tvaru U a obráceného U ϕ 14 (předpoklad plné využití výztuže $\sigma_{sd} = f_{yd}$)

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{14}{4} \cdot \frac{434,78}{2,1} \approx 730 \text{ mm}$$

návrhová délka přesahu se určí ze vztahu

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min} = \max(0,3\alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\phi; 200 \text{ mm})$$

pro 100 % prutů stykovaných přesahem v jednom řezu $\alpha_6 = 1,5$

$$l_0 = 1,5 \cdot 730 \approx 1100 \text{ mm} \geq l_{0,min} = \max(0,3 \cdot 1,5 \cdot 730 = 329; 15 \cdot 14 = 210; 200) = 330 \text{ mm}$$

Vzhledem k tomu, že výška oslabené části činí pouze 750 mm, budou k sobě U profily přivařeny, nebo se smyková výztuž provede z uzavřených třmínků.

táhlo 12 (veškerá výztuž musí být kvůli otvoru umístěná ve stropní desce)

$$A_{s,req} = \frac{N_{12}}{f_{yd}} = \frac{1277,14}{434,78 \times 10^3} = 29,37 \times 10^{-4} \text{ m}^2 > A_{s,prov} = 29,45 \times 10^{-4} \text{ m}^2 (6\phi 25)$$

těžiště výztuží zůstane ve střednici desky

Tahovou sílu v dolní tažené výztuži lze po celé délce uvažovat přibližně stejnou. Veškerá spodní výztuž stěny bude dotažena za líc střední podpory (na stranu s plným průřezem), tak aby nebyla výztuž v místě otvoru oslabena napojením. Napojení bude provedeno buď svary nebo šroubením. V místě krajní podpory S3 bude výztuž ϕ 25 navařena na čelní desku.

nutná kotvení délka rovné výztuže u převislého konce ϕ 25, dobré podmínky soudržnosti při betonování desky, (předpoklad $\sigma_{sd} = f_{yd}$)

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{25}{4} \cdot \frac{434,78}{3} \approx 910 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\phi; 100 \text{ mm})$$

$$l_{bd} = 1,0 \cdot 910 = 910 \text{ mm} \geq l_{b,min} = \max(0,3 \cdot 910 = 273; 10 \cdot 25 = 250; 100) = 270 \text{ mm}$$

Konstrukční výztuž pro stěnové nosníky

Stěnové nosníky je nutné při každém povrchu vyztužit ortogonální sítí s minimální průřezovou plochou $A_{s,min} = 0,001A_c = 0,001 \cdot 0,25 \cdot 1 = 2,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1} \geq 1,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ v každém směru.

Maximální plocha výztuže u jednoho z povrchů $A_{s,max} = \frac{0,04}{2}A_c = 0,02 \cdot 0,25 \cdot 1 = 50 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$

Maximální osová vzdálenost sousedních výztužných prutů

$$s_{max} = \min(2b; 300 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 250 = 500; 300) = 300 \text{ mm}$$

V obou směrech navržen základní rastr výztuže $\phi 12/300$, $A_s = 3,77 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Přibližné zatížení spodního líce viz schéma výše

$$f_d = \gamma_G \cdot (g_{0k,1a} + g_{0k,2} + g_{1k,b}) + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot q_k = 1,35 \cdot (8,8 + 28,8 + 12,7) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 8,3 \approx 77 \text{ kN/m}$$

Nutná plocha výztuže ve dvou střízích pro vynesení zatížení

$$A_{s,req} = \frac{f_d}{f_{yd}} = \frac{77}{434,78 \times 10^3} = 1,77 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1} < A_s$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 12 + 10 = 22 \text{ mm, navrženno krytí } c = 25 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}) = \max(12; 10; 10) = 12 \text{ mm}$$

Jelikož je nosník zatížen stropní deskou při spodním okraji, musí se navrhnout svislá tahová výztuž pro vynášení nepřímého zatížení (včetně vlastní tíhy stěny) obepínající hlavní podélnou výztuž. Tato výztuž musí být dostatečně zakotvena v tlačeném pásu při horním líci stěny, resp tato výztuž bude dotažena až do horní desky tak, aby byla zajištěna smyková únosnost v pracovní spáře. Vzhled k tomu, že by tato výztuž vyčnívala 3 m z desky při jejím pracovním záběru, rozdělím ji raději na dva profily, první U zabudovaný při provádění desky a k ní stykované rovné pruty.

základní kotevní délka pro $\phi 12$ (předpoklad plné využití výztuže $\sigma_{sd} = f_{yd}$)

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{12}{4} \cdot \frac{434,78}{2,1} \approx 620 \text{ mm}$$

$$\text{kde } f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 2,1 \text{ MPa (špatné podmínky soudržnosti)}$$

návrhová délka přesahu výztuž tvaru U s rovnými pruty + délka rovných prutů přecházející do sloupů vyšších podlaží se určí ze vztahu

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min} = \max(0,3\alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\phi; 200 \text{ mm})$$

pro 100 % prutů stykovaných přesahem v jednom řezu $\alpha_6 = 1,5$

$$l_0 = 1,5 \cdot 620 \approx 930 \text{ mm} \geq l_{0,min} = \max(0,3 \cdot 1,5 \cdot 620 = 280; 15 \cdot 12 = 180; 200) = 280 \text{ mm}$$

Minimálně konstrukční vyztužení příčnými sponami – 4 spony/m²

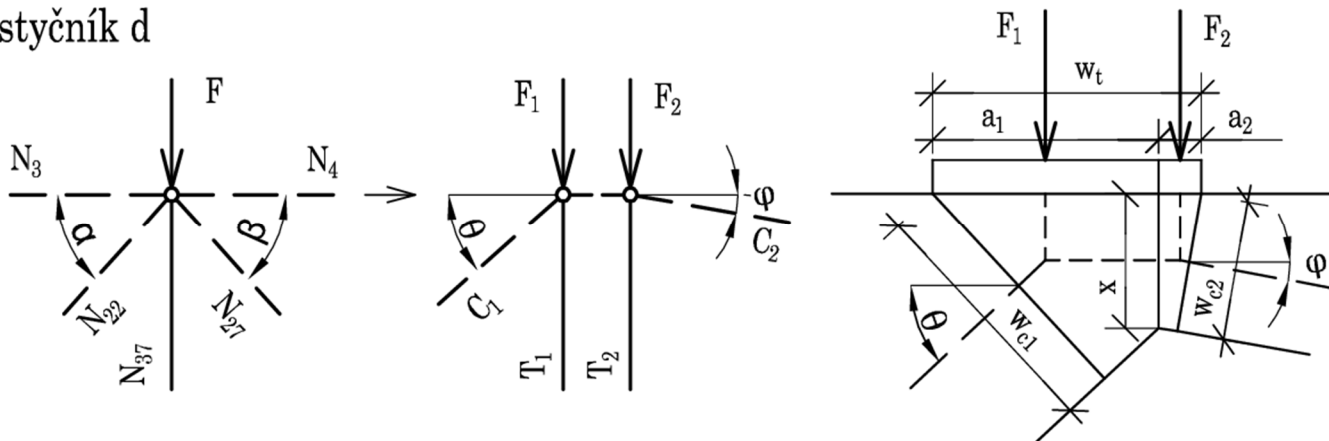
Návrh výšky nejvíce namáhané vzpěry 4 horního pásu tak, aby její únosnost byla dostatečná i při posouzení v uzlu.

Z posouzení vzpěry

$$x \geq \frac{N_4}{\sigma_{Rd,max} \cdot b} = \frac{2281}{20 \times 10^3 \cdot 1,35} = 0,085 \text{ m}$$

Obr. 73 Schéma posouzení styčnicku (d)

styčník d



$N_3 = -410,3 \text{ kN}$, $N_{22} = -3442,8 \text{ kN}$, $\alpha = 48^\circ$, $N_4 = -2281,1 \text{ kN}$, $N_{27} = -661,7 \text{ kN}$, $\beta = 48^\circ$,
 $T = N_{37} = 1872,1 \text{ kN}$, $F = 1165 \text{ kN}$

- 1) porovnám napětí v ložné ploše s návrhovým

$$\sigma_T = \frac{T}{w_t \cdot b} = \frac{1872,1}{0,4 \cdot 0,25} = 18,72 \text{ MPa} \not\leq \sigma_{Rd,max} = 15,0 \text{ MPa} \Rightarrow$$

$$w_t \geq \frac{T}{\sigma_{Rd,max} \cdot b} = \frac{1872,1}{15 \times 10^3 \cdot 0,25} = 0,49 \text{ m}$$

nový návrh šířky sloupů u otvoru $w_t = 0,5 \text{ m}$

- 2) najdu výslednici sil C_1 ze vzpěr N_3, N_{22} a C_2 z N_4, N_{27}

- 3) vzhledem k rovnováze sil ve styčnicku rozdělím ložnou plochu sloupu na dvě části a_1, a_2 v poměru velikosti svislých složek ve vzpěrách C_1, C_2 , ve stejném poměru lze rozložit sílu F, T

$$C_x = C_{1x} = C_{2x}; \frac{a_1}{C_{1z}} = \frac{a_2}{C_{2z}}; a_1 + a_2 = 400 \text{ mm} \Rightarrow a_1 = \frac{400 \cdot C_{1z}}{C_{1z} + C_{2z}}; \frac{a_1}{F_1} = \frac{a_2}{F_2}; F_1 + F_2 = F$$

graficky určené složky $C_x = -2720 \text{ kN}$

- 4) posouzení styčnicků CCT

$$\sigma_{Rd,max} \geq \frac{C_1}{w_{c1} \cdot b}; \text{ kde } w_{c1} = x \cdot \cos \theta + a_1 \cdot \sin \theta, b = 1,35 \text{ m v desce}, b = 0,25 \text{ m ve stěně}$$

$$\sigma_{Rd,max} \geq \frac{C_2}{w_{c2} \cdot b}; \text{ kde } w_{c2} = x \cdot \cos \varphi + a_2 \cdot \sin \varphi, b = 1,35 \text{ m v desce}, b = 0,25 \text{ m ve stěně}$$

$$\sigma_{Rd,max} \geq \frac{C_x}{x \cdot b} \text{ rozhodující podmínka}$$

za předpokladu $x < h_s = 200 \text{ mm}$

$$x \geq \frac{C_x}{\sigma_{Rd,max} \cdot b} = \frac{2720}{15 \times 10^3 \cdot 1,35} = 0,135 \text{ m}$$

nová osa horního pásu bude ležet ve vzdálenosti 0,07 m od horního líce desky

změna zatížení vlivem zvětšení rozměru sloupu

$$F_{uzel\ d} = 1165 + 1,35(0,1 \cdot (2 \cdot 3) \cdot 25) = 1185 \text{ kN}, F_{uzel\ h} = 1410 + 1,35(0,1 \cdot (2 \cdot 3) \cdot 25) = 1430 \text{ kN}$$

Tab. 10 Nové polohy uzlů po 1. iteraci

uzel	x	z	uzel	x	z
a	-2,8	3,03	o	7,4	0
b	0	3,03	p	9,4	0
c	2,6	3,03	q	12	0
d	5,4	3,03	r	14,8	0
e	5,9	3,03	s	4,9	2,5
f	6,4	3,03	t	5,9	2,5
g	6,9	3,03	u	6,4	2,5
h	7,4	3,03	v	6,9	2,5
i	9,4	3,03	w	7,4	2,5
j	12	3,03	x	4,9	1,667
k	14,8	3,03	y	5,4	1,667
l	0	0	z	4,9	0,833
m	2,6	0	aa	5,4	0,833
n	5,4	0			

Tab. 11 Nové vnitřní síly na prutech po 1. iteraci

prut	N [kN]	prut	N [kN]	prut	N [kN]
1	815,97	18	-1152	35	-1096,94
2	815,97	19	-1884,01	36	-548,14
3	-410,9	20	1164,78	37	1893,08
4	-2363,4	21	-1262,05	38	1344,94
5	-1887,72	22	-3538,47	39	796,14
6	-1412,05	23	1902,7	40	-639,3
7	-936,37	24	1427,03	41	-639,87
8	-936,37	25	951,35	42	-639,3
9	-1223,5	26	475,68	43	329,02
10	0	27	-693,18	44	329,02
11	410,9	28	-693,18	45	-1934,22
12	1265,38	29	-693,18	46	-521,22
13	936,37	30	-693,18	47	205
14	1223,5	31	504,22	48	215
15	1223,5	32	504,22	49	-1802,75
16	1223,5	33	504,22	50	-593
17	-1202,29	34	-1430		

reakce

styčník	R [kN]	styčník	R [kN]	styčník	R [kN]
l	3568,80	o	2582,20	r	2115,00

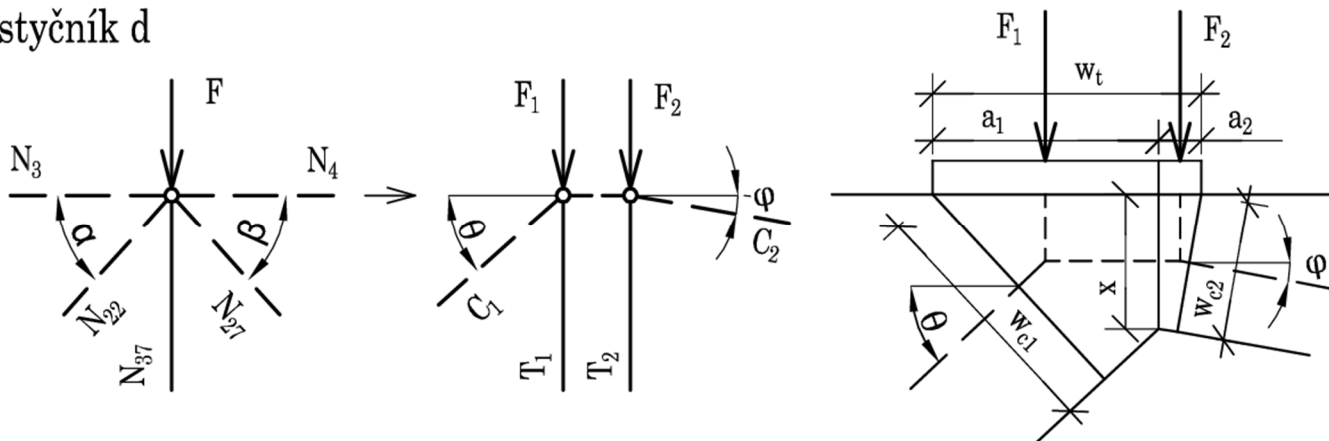
Vzhledem k malé změně výsledků, lze předpokládat, že 1. iterace je dostatečně přesná.

Reakce v příhradovém modelu odpovídají reakcím z lineární analýzy.

Napětí v betonové vzpěře není pro návrh rozhodující a nemusí se ověřovat, pokud napětí ve styčnicích vyhovují návrhovým napětím a pokud je vzpěra vyztužena ortogonální výztuží proti příčným tahům.

Posouzení kritických uzlů

Styčník (d) postup viz výše
styčník d



$N_3 = -410,9 \text{ kN}$, $N_{22} = -3538,5 \text{ kN}$, $\alpha = 46,7^\circ$, $N_4 = -2363,4 \text{ kN}$, $N_{27} = -693,2 \text{ kN}$, $\beta = 46,7^\circ$,
 $T = N_{37} = 1893,1 \text{ kN}$, $F = 1185 \text{ kN}$

1) výslednice sil $C_1 = -3832,1 \text{ kN}$ a $C_2 = -2883,5 \text{ kN}$, $\theta = 42,2^\circ$, $\varphi = 10,1^\circ$

2) rozdělení ložné spáry

$$a_1 = \frac{500 \cdot C_{1z}}{C_{1z} + C_{2z}} = \frac{500 \cdot 2573,9}{2573,9 + 504,2} = 418 \text{ mm} \Rightarrow a_2 = 500 - a_1 = 500 - 418 = 82 \text{ mm}$$

3) posouzení styčniců CCT

$$x \geq \frac{C_x}{\sigma_{Rd,max} \cdot b} = \frac{2839,1}{15 \times 10^3 \cdot 1,35} = 0,14 \text{ m} < h_s = 0,2 \text{ m}$$

$$\sigma_{Rd,max} = 15 \text{ MPa} \geq \frac{C_1}{(x \cdot \cos \theta + a_1 \cdot \sin \theta) \cdot b} = \frac{3832,1}{(0,14 \cdot \cos 42,2^\circ + 0,418 \cdot \sin 42,2^\circ) \cdot 1,35} \approx 7,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd,max} = 15 \text{ MPa} \geq \frac{C_2}{(x \cdot \cos \varphi + a_2 \cdot \sin \varphi) \cdot b} = \frac{2883,5}{(0,14 \cdot \cos 10,1^\circ + 0,082 \cdot \sin 10,1^\circ) \cdot 1,35} \approx 14,0 \text{ MPa}$$

4) návrh výztuže v táhle T

$$A_{s,req} = \frac{T}{f_{yd}} = \frac{1893,1}{434,78 \times 10^3} = 43,54 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

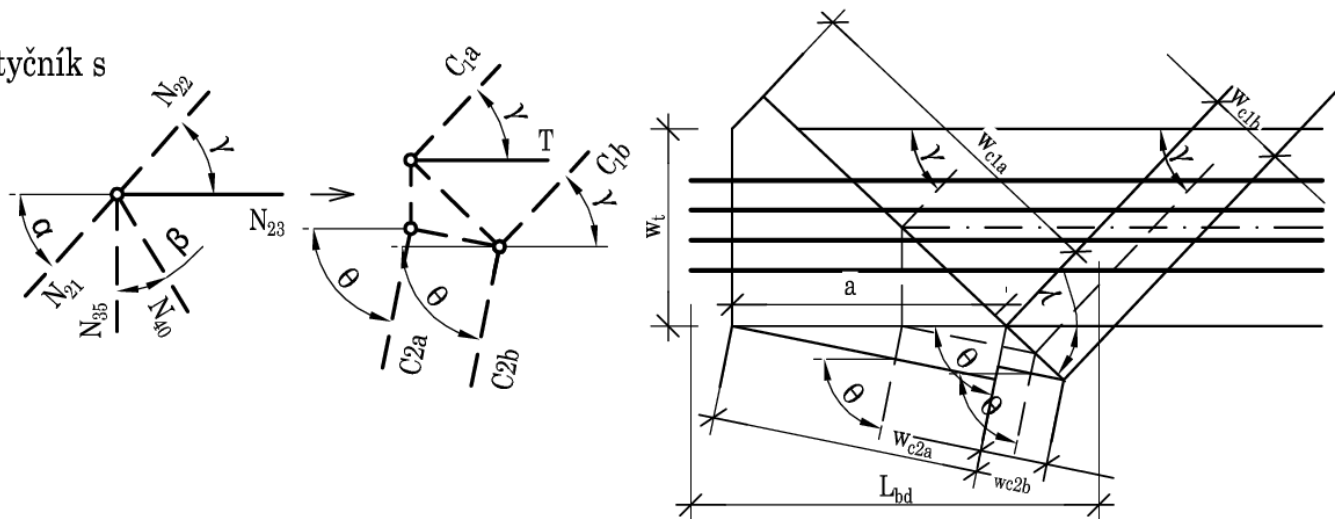
$$\text{navrženo } 10\varnothing 25, A_s = 49,1 \times 10^{-4} \text{ m}^2 < A_{s,max} = 0,04A_c = 0,04 \cdot (0,5 \cdot 0,25) = 50 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Výztuž bude protažena do sloupu vyššího podlaží na vzdálenost $l_0 = \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1,5 \cdot 1300 \cong 1950 \text{ mm}$ za předpokladu plného využití výztuže $\sigma_{sd} = f_{yd}$, 100 % prutů stykovaných přesahem v jednom řezu a špatné podmínky soudržnosti v patě sloupu.

Rovnovážný stav ve styčníku (s)

Výztuž je umístěna v několika vrstvách, hodnotu návrhového tlakového napětí ve styčníku CCT lze zvýšit o 10 % $\Rightarrow \sigma_{Rd,max} = 1,1 \cdot 15 \text{ MPa} = 16,5 \text{ MPa}$.

styčník s



$$C_1 = N_{22} = -3538,5 \text{ kN}, \gamma = 46,7^\circ, C_3 = N_{21} = -1262,1 \text{ kN}, \alpha = 48,7^\circ, N_{35} = -1097,0 \text{ kN}, \\ N_{40} = -639,3 \text{ kN}, \beta = 31^\circ, T = N_{23} = 1902,7 \text{ kN}$$

- 1) ověření efektivní výšky kotevní oblasti

$$w_t = 0,3 \text{ m} \geq \frac{T}{\sigma_{Rd,max} \cdot b} = \frac{1902,7}{16,5 \times 10^3 \cdot 0,25} = 0,46 \text{ m} \Rightarrow$$

kotevní oblast je na každou stranu rozšířena o 0,09 m na $w_t = 0,48 \text{ m}$

- 2) vzhledem k tomu že je $T = 1902,7 \text{ kN} < N_{22x} = -2428,2 \text{ kN}$, vzpěru N22 rozdělím na dvě části tak, aby $C_{1ax} = T$

$$C_{1a} = \frac{C_{1ax}}{\cos \gamma} = \frac{1902,7}{\cos 46,7^\circ} = -2774,3 \text{ kN}; C_{1b} = N_{22} - C_{1a} = -3538,5 + 2774,3 = 764,2 \text{ kN}$$

- 3) zjistím nutnou vodorovnou délku styku a ve styčníku a zní dopočítám délku w_{c1a} tlačené vzpěry C_{1a} ve styčníku CCT

$$a \geq \frac{C_{1az}}{\sigma_{Rd,max} \cdot b} = \frac{2573,9}{16,5 \times 10^3 \cdot 0,25} = 624 \text{ mm}, \text{ volím } a = 640 \text{ mm}$$

$$w_{c1a} = w_t \cdot \cos \gamma + a \cdot \sin \gamma = 460 \cdot \cos 46,7^\circ + 640 \cdot \sin 46,7^\circ = 780 \text{ mm}$$

- 4) posouzení styčníků CCT, $C_{1az} = -2573,9 \text{ kN}$

$$\sigma_{C1a} = \frac{C_{1a}}{w_{c1a} \cdot b} = \frac{2774,3}{(0,78 \cdot 0,25)} = 14,3 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 16,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \frac{C_{1az}}{a \cdot b} = \frac{2573,9}{(0,64 \cdot 0,25)} = 16,1 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 16,5 \text{ MPa}$$

- 5) zjistím nutnou výšku w_{c1b} tlačené vzpěry C_{1b} ve styčníku CCC

$$w_{c1b} \geq \frac{C_{1b}}{\sigma_{Rd,max} \cdot b} = \frac{764,2}{17,6 \times 10^3 \cdot 0,25} = 173 \text{ mm}, \text{ volím } w_{c1b} = 180 \text{ mm}$$

- 6) najdu výslednici C_2 vzpěr N_{21}, N_{35}, N_{40}

graficky určená výslednice sil $C_2 = -2641,3 \text{ kN}, \theta = 79^\circ$

- 7) zjistím výšku $w_{c2} = w_{c2a} + w_{c2b}$ tlačené vzpěry C_2 , tu pak rozdělím na dvě části w_{c2a}, w_{c2b}
- $$w_{c2} = a \cdot \sin \theta + w_{c1b} \cdot \sin(180^\circ - \theta - \gamma) = 640 \cdot \sin 79^\circ + 180 \cdot \sin(180^\circ - 79^\circ - 46,7^\circ) = 770 \text{ mm}$$

$$w_{c2b} = w_{c2} - w_{c2a} = 770 - 640 \cdot \sin 79^\circ = 140 \text{ mm}, w_{c2a} = 630 \text{ mm}$$

- 8) sílu ve vzpěře C_2 rozdělím na dvě části v poměru vzdáleností w_{c2a}, w_{c2b}

$$\frac{C_2}{w_{c2}} = \frac{C_{2a}}{w_{c2a}} \Rightarrow C_{2a} = \frac{C_2 \cdot w_{c2a}}{w_{c2}} = \frac{2641,3 \cdot 630}{770} = 2161 \text{ kN}; C_{2b} = 2641,3 - 2161 = 480,3 \text{ kN}$$

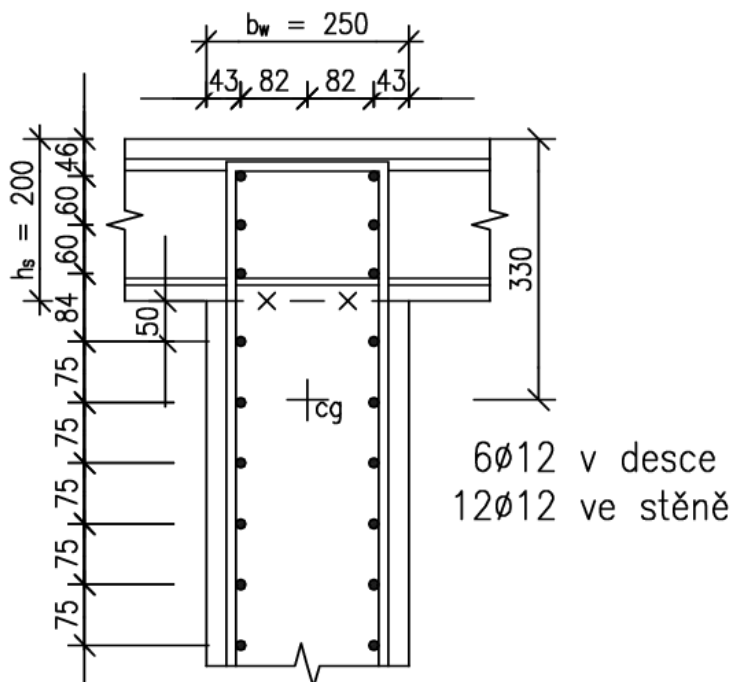
- 9) posouzení styčníků CCC

$$\sigma_{C_2} = \frac{C_2}{w_{c2} \cdot b} = \frac{2641,3}{(0,77 \cdot 0,25)} = 13,7 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 17,6 \text{ MPa}$$

Táhlo je protaženo tlačným pásem C_1 . Vzniká tak rozšířená styčnicková zóna. To je oblast s tlakovým napětím od betonových vzpěr a od reakce na průniku s taženými pásy vně hydrostatické uzlové zóny. Prodloužení rozšířenou styčnickovou zónou přispívá ke kotevní délce, určené od okraje styčnicku. Prodloužení lze stanovit ze vztahu $x = 1/4(w_{c1}/\cos\gamma + w_t \cdot \tan\gamma - (a - w_{c2} \cdot \cos\gamma))$.

táhlo 1 a 2

$$A_{s,req} = \frac{N_1}{f_{yd}} = \frac{815,9}{434,78 \times 10^3} = 18,76 \times 10^{-4} \text{ m}^2 > A_{s,prov} = 20,34 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ (18}\phi 12\text{)}$$



osa taženého prutu od horního líce desky za předpokladu stejného vyztužení desky jako nad 1.NP

$$d_1 = \frac{2 \cdot 46 + 2 \cdot 106 + 2 \cdot 166 + 2 \cdot 250 + 2 \cdot 325 + 2 \cdot 400 + 2 \cdot 475 + 2 \cdot 550 + 2 \cdot 625}{18} \cong 330 \text{ mm}$$

Původní výpočet příhrady počítal s osou vzdálenou od horního líce desky 80 mm. Jelikož je stěnový nosník vysoký 3,2 m, byla by případná změna síly v řádu procent. Ty budou pokryty výztuží v desce.

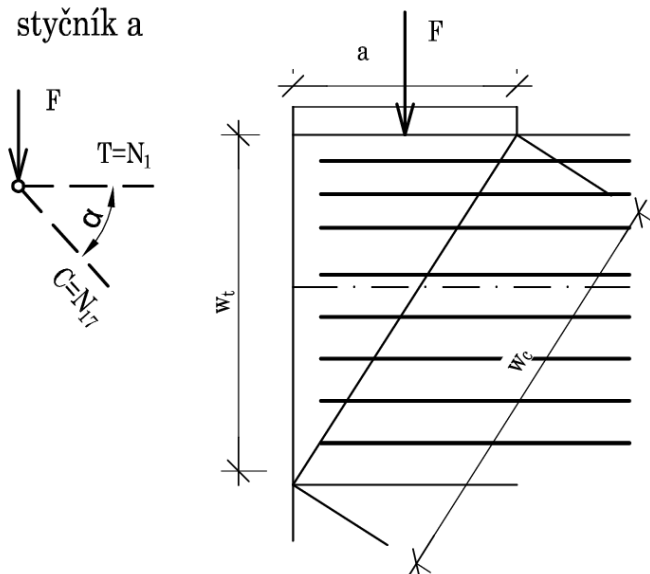
$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b_w \cdot h = 0,04 \cdot 0,25 \cdot 0,55 = 55,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2 > A_{s,prov} = 20,34 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s_{min} = \max(1,2\phi; d_g + 5; 20) = \max(1,2 \cdot 12 = 14,4; 32 + 5 = 37; 20) = 37 \text{ mm} < s$$

Kotevní délka v uzlu a je vytvořena tvarem výztuže U.

Styčnick (a)

styčnick a



$$C = N_{17} = -1202,3 \text{ kN}, \alpha = 47,3^\circ, T = N_1 = 816,0 \text{ kN}, F = -833 \text{ kN}$$

- 1) ověření efektivní výšky kotevní oblasti

$$w_t \approx 0,6 \text{ m} \geq \frac{T}{\sigma_{Rd,max} \cdot b} = \frac{816}{16,5 \times 10^3 \cdot 0,25} = 0,2 \text{ m}$$

- 2) ověření plochy ložné spáry

$$A_{sloupu} = 0,4 \cdot 0,25 = 0,1 \text{ m}^2 \geq \frac{F}{\sigma_{Rd,max}} = \frac{833}{16,5 \times 10^3} = 0,05 \text{ m}^2$$

- 3) výška tlačené vzpěry

$$w_c = w_t \cdot \cos \alpha + a \cdot \sin \alpha = 0,6 \cdot \cos 47,3^\circ + 0,4 \cdot \sin 47,3^\circ = 0,7 \text{ m}$$

- 4) posouzení vzpěry v uzlu

$$\sigma_C = \frac{C}{w_c \cdot b} = \frac{1202,3}{0,7 \cdot 0,25} = 6,9 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 16,5 \text{ MPa}$$

Styčnick (b)

$$C = N_{18} = -1152 \text{ kN}, F = 1152 \text{ kN}$$

- 1) ověření plochy ložné spáry

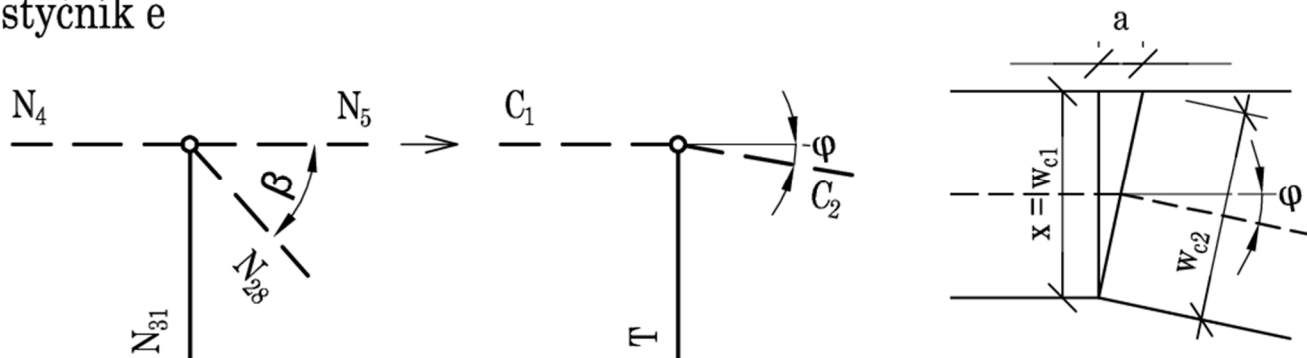
$$A_{sloupu} = 0,4 \cdot 0,25 = 0,1 \text{ m}^2 \geq \frac{F}{\sigma_{Rd,max}} = \frac{1152}{16,5 \times 10^3} = 0,07 \text{ m}^2$$

Rovnovážný stav ve styčnicku (e)

V horním pásu uvažují konstantní šířku 0,14 m, při menší síle ve vzpěře bude klesat napětí.

Třmínky rozmístěny rovnoměrně po celé délce uvažovaného úseku, hodnota návrhového tlakového napětí ve styčnicku CCT $\sigma_{Rd,max} = 1,1 \cdot 15 \text{ MPa} = 16,5 \text{ MPa}$.

styčnick e



$$C_1 = N_4 = -2363,4 \text{ kN}, N_5 = -1887,7 \text{ kN}, N_{28} = -693,2 \text{ kN}, \beta = 46,7^\circ, T = N_{31} = 504,2 \text{ kN}$$

- 1) najdu výslednici sil C_2 ze vzpěr N_5, N_{28}

$$C_2 = 2416,6 \text{ kN}, \varphi = 12^\circ$$

- 2) z uzlu d znám $x = w_{c1} = 0,14 \text{ m}$

- 3) z rovnováhy sil ve styčnicku a pro hydrostatický uzel platí

$$C_{1x} = C_{2x}; \frac{C_1}{w_{c1}} = \frac{C_2}{w_{c2}} = \frac{C_{2z}}{a} \Rightarrow w_{c2} = \frac{w_{c1} \cdot C_2}{C_1} = \frac{140 \cdot 2416,6}{2363,4} = 143 \text{ mm}$$

- 4) posouzení styčnicků CCT

$$\sigma_{C1} = \frac{C_1}{w_{c1} \cdot b} = \frac{2363,4}{(0,14 \cdot 1,35)} = 12,5 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 16,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{C2} = \frac{C_2}{w_{c2} \cdot b} = \frac{2416,6}{(0,143 \cdot 1,35)} = 12,5 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 16,5 \text{ MPa}$$

Když vyhověl uzel e, vyhoví i uzly f, g

Styčnick (h)

$$C_x = N_7 = N_8 = -936,4 \text{ kN}, C_y = N_{34} = F = -1430 \text{ kN}$$

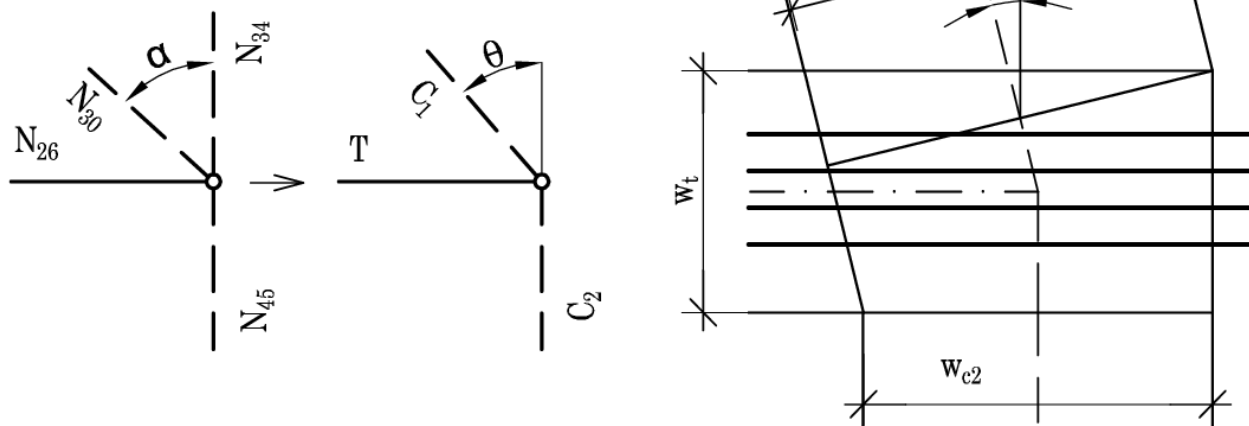
Styčnick CCCC

$$\sigma_{C_x} = \frac{C_x}{x \cdot b} = \frac{936,4}{0,14 \cdot 1,35} = 6,5 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 17,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{C_y} = \frac{C_y}{a \cdot b} = \frac{1430}{0,5 \cdot 0,25} = 11,4 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 17,6 \text{ MPa}$$

Styčnick (w)

styčnick w



$$N_{30} = -693,2 \text{ kN}, \alpha = 43,3^\circ, N_{34} = -1430 \text{ kN}, C_2 = N_{45} = -1934,2 \text{ kN}, T = N_{26} = 475,7 \text{ kN}$$

- 1) najdu výslednici sil C_1 ze vzpěr N_{30}, N_{34}

$$C_1 = 1991,9 \text{ kN}, \theta = 13,8^\circ$$

- 2) znám výšku táhla $w_t = 0,48 \text{ m}$ viz uzel s, výšku vzpěry $w_{c2} = 0,5 \text{ m}$

- 3) posouzení vzpěry C_2

$$\sigma_{C_2} = \frac{C_2}{w_{c2} \cdot b} = \frac{1934,2}{(0,5 \cdot 0,25)} = 15,5 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 16,5 \text{ MPa}$$

- 4) spočítám výšku vzpěry C_1

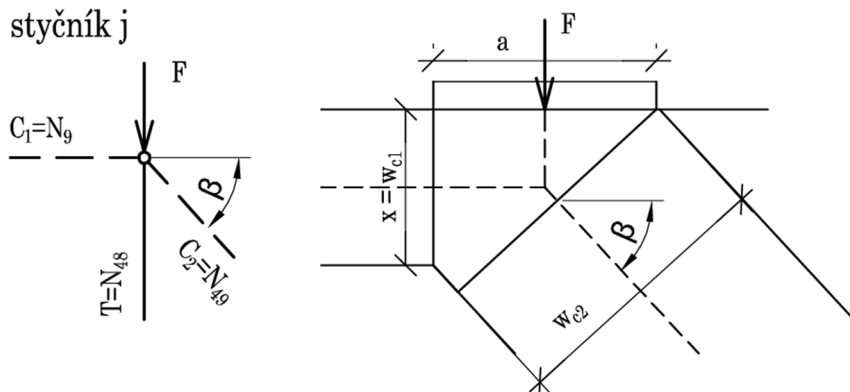
$$w_{c1} = w_{c2} \cdot \cos \theta + w_t \cdot \sin \theta = 500 \cdot \cos 13,8^\circ + 480 \cdot \sin 13,8^\circ = 600 \text{ mm}$$

- 5) posouzení vzpěry C_2

$$\sigma_{C_2} = \frac{C_2}{w_{c2} \cdot b} = \frac{1991,9}{(0,6 \cdot 0,25)} = 13,3 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 16,5 \text{ MPa}$$

Styčnick (j)

styčnick j



$$C_1 = N_9 = -1109 \text{ kN}, C_2 = N_{49} = -1802,8 \text{ kN}, \beta = 47,3^\circ, T = N_{48} = 215 \text{ kN}, F = 1109 \text{ kN}$$

- 1) znám $w_{c1} = 0,14 \text{ m}, a = 0,4 \text{ m}$

- 2) vypočtu výšku vzpěry C_2

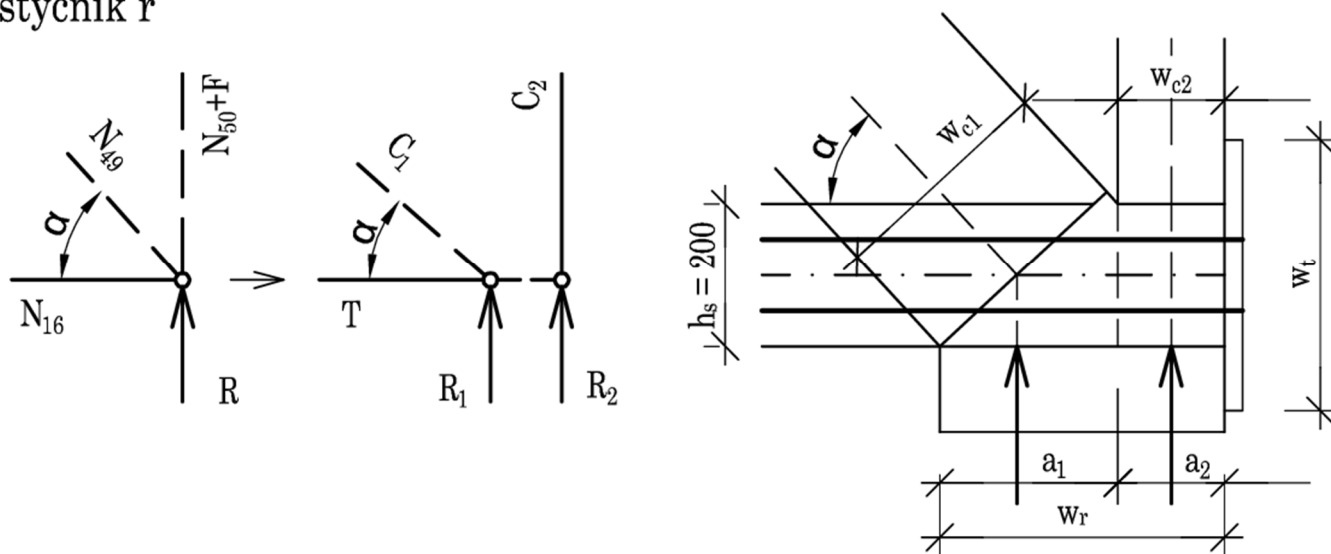
$$w_{c2} = w_{c1} \cdot \cos \beta + a \cdot \sin \beta = 0,14 \cdot \cos 47,3^\circ + 0,4 \cdot \sin 47,3^\circ = 0,39 \text{ m}$$

- 3) posouzení vzpěry C_2

$$\sigma_{C_2} = \frac{C_2}{w_{c2} \cdot b} = \frac{1802,8}{0,39 \cdot 1,35} = 3,4 \text{ MPa}$$

Styčník (r)

styčník r



$$C_1 = N_{49} = -1802,8 \text{ kN}, \alpha = 47,3^\circ, C_2 = N_{50} = -593 \text{ kN}, T = N_{16} = 1223,5 \text{ kN}$$

$$R = 2115,0 \text{ kN}, F = 198 \text{ kN}$$

- 1) reakci ve sloupu rozdělím v poměru svislých složek zatížení vstupujících do podpory

$$R_1 = (R - F) - C_2 = (2115 - 198) - 593 = 1324 \text{ kN}, R_2 = C_2$$

- 2) následně rozdělím ložnou plochu podpory šířky 400 mm v poměru reakcí \$R_1, R_2\$

$$\frac{R - F}{400} = \frac{R_1}{a_1} = \frac{R_2}{a_2} \Rightarrow a_1 = \frac{400 \cdot 1324}{2115 - 198} = 250 \text{ mm}, a_2 = 400 - 250 = 150 \text{ mm}$$

- 3) napětí ve styčné spáře \$R_1\$ a \$R_2\$ s podporující konstrukcí (sloup \$b = 0,35\$ m)

$$\sigma_{R_1} = \frac{R_1}{a_1 \cdot b} = \frac{1324}{(0,25 \cdot 0,35)} = 15,1 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 16,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{R_2} = \sigma_{C_2} = \frac{R_2}{a_2 \cdot b} = \frac{791}{(0,15 \cdot 0,35)} = 15,1 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 16,5 \text{ MPa}$$

- 4) plocha kotevní desky

$$A_t \geq \frac{T}{\sigma_{Rd,max}} = \frac{1522}{16,5 \times 10^3} = 0,0922 \text{ m}^2$$

potom je výška kotevní desky opřené o sloup a stěnu

$$w_t = \frac{A_t}{b} = \frac{0,0922}{0,25} \approx 0,38 \text{ m}$$

- 5) výška tlačené vzpěry \$C_1\$

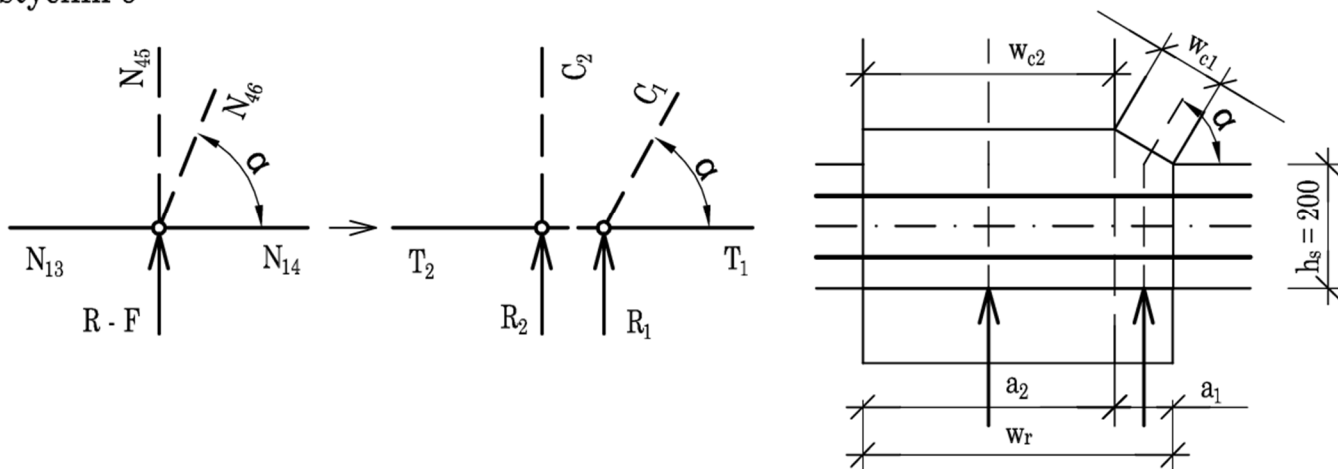
$$w_{c1} = h_s \cdot \cos \alpha + a_1 \cdot \sin \alpha = 200 \cdot \cos 47,3^\circ + 250 \cdot \sin 47,3^\circ = 320 \text{ mm}$$

- 6) posouzení vzpěry \$C_1\$

$$\sigma_{C_1} = \frac{C_1}{w_{c1} \cdot b} = \frac{1802,8}{(0,32 \cdot 0,35)} = 16,1 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 16,5 \text{ MPa}$$

Styčník (o)

styčník o



$$C_1 = N_{46} = -521,2 \text{ kN}, \alpha = 59,3^\circ, C_2 = N_{45} = -1934,2 \text{ kN}, T_1 = N_{14} = 1223,5 \text{ kN}$$

$$T_2 = N_{13} = 936,4 \text{ kN}, R = 2582,2 \text{ kN}, F = 213 \text{ kN}$$

- 1) reakci ve sloupu rozdělím v poměru svislých složek zatížení vstupujících do podpory

$$R_1 = (R - F) - C_2 = (2582,2 - 213) - 1934,2 = 435 \text{ kN}, R_2 = C_2$$

- 2) následně rozdělím ložnou plochu podpory šířky 500 mm v poměru reakcí R_1, R_2

$$\frac{R - F}{500} = \frac{R_1}{a_1} = \frac{R_2}{a_2} \Rightarrow a_1 = \frac{500 \cdot 435}{2582,2 - 213} = 90 \text{ mm}, a_2 = 500 - 90 = 410 \text{ mm}$$

- 3) napětí ve styčné spáře R_1 a R_2 s podporující konstrukcí (sloup $b = 0,35 \text{ m}$)

$$\sigma_{R_1} = \frac{R_1}{a_1 \cdot b} = \frac{435}{(0,09 \cdot 0,35)} = 13,8 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 16,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{R_2} = \sigma_{C_2} = \frac{R_2}{a_2 \cdot b} = \frac{1934,2}{(0,41 \cdot 0,35)} = 13,5 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 16,5 \text{ MPa}$$

- 4) napětí od tažené výztuže (působí pouze v desce na nutné šířce pro přenesení tahových sil)

$$b \geq \frac{\max T}{\sigma_{Rd,max} \cdot h_s} = \frac{1223,5}{16,5 \times 10^3 \cdot 0,2} = 0,37 \text{ m}$$

- 5) výška tlačené vzpěry C_1

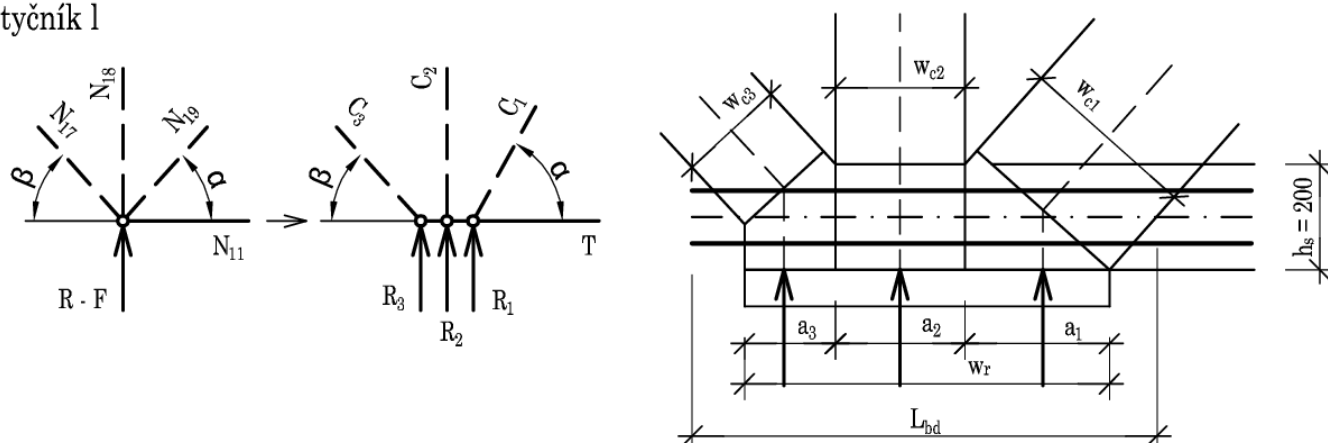
$$w_{c1} = a_1 / \sin \alpha = 90 / \sin 59,3^\circ = 110 \text{ mm}$$

- 6) posouzení vzpěry C_1

$$\sigma_{C_1} = \frac{C_1}{w_{c1} \cdot b} = \frac{521,2}{(0,11 \cdot 0,35)} = 13,5 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 16,5 \text{ MPa}$$

Styčník (I)

styčník I



$$C_1 = N_{19} = -1884,0 \text{ kN}, \alpha = 48,3^\circ, C_2 = N_{18} = -1152,0 \text{ kN}, C_3 = N_{17} = -1202,3 \text{ kN}, \beta = 47,3^\circ$$

$$T = N_{11} = 410,9 \text{ kN}, R = 3568,8 \text{ kN}, F = 104 \text{ kN}$$

- 1) určím svislé složky sil vzpěr C_1, C_3 ; $C_{3z} = 883 \text{ kN}, C_{1z} = 1406,6 \text{ kN}$
- 2) rozdělím ložnou plochu podpory šířky 700 mm v poměru reakcí svislých složek

$$\frac{R - F}{500} = \frac{C_{1z}}{a_1} = \frac{C_2}{a_2} = \frac{C_{3z}}{a_3} \Rightarrow a_3 = \frac{700 \cdot 883}{3568,8 - 104} = 180 \text{ mm}$$

$$a_2 = \frac{700 \cdot 1152}{3568,8 - 104} = 240 \text{ mm}, a_1 = \frac{700 \cdot 1406,6}{3568,8 - 104} = 280 \text{ mm}$$

- 3) posoudím ložnou spáru

$$\sigma_{R_3} \approx \frac{C_{3z}}{a_3 \cdot b} = \frac{883}{(0,18 \cdot 0,35)} = 13,2 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 16,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{R_2} \approx \sigma_{C_2} = \frac{C_2 + F}{a_2 \cdot b} = \frac{1152 + 104}{(0,24 \cdot 0,35)} = 15,0 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 16,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{R_1} \approx \frac{C_{1z}}{a_1 \cdot b} = \frac{1406,6}{(0,28 \cdot 0,35)} = 14,4 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 16,5 \text{ MPa}$$

- 7) výška tlačené vzpěry C_1

$$w_{c1} = h_s \cdot \cos \alpha + a_1 \cdot \sin \alpha = 200 \cdot \cos 48,3^\circ + 280 \cdot \sin 48,3^\circ = 340 \text{ mm}$$

$$w_{c3} \approx (a_3 / \tan \beta) \cdot \cos \beta + a_3 \cdot \sin \beta = (180 / \tan 47,3^\circ) \cdot \cos 47,3^\circ + 180 \cdot \sin 47,3^\circ = 240 \text{ mm}$$

- 8) posouzení vzpěry C_1, C_3

$$\sigma_{C_1} = \frac{C_1}{w_{c1} \cdot b} = \frac{1844}{(0,34 \cdot 0,35)} = 15,5 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 16,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{C_3} = \frac{C_3}{w_{c3} \cdot b} = \frac{1202,3}{(0,24 \cdot 0,35)} = 14,3 \text{ MPa} < \sigma_{Rd,max} = 16,5 \text{ MPa}$$

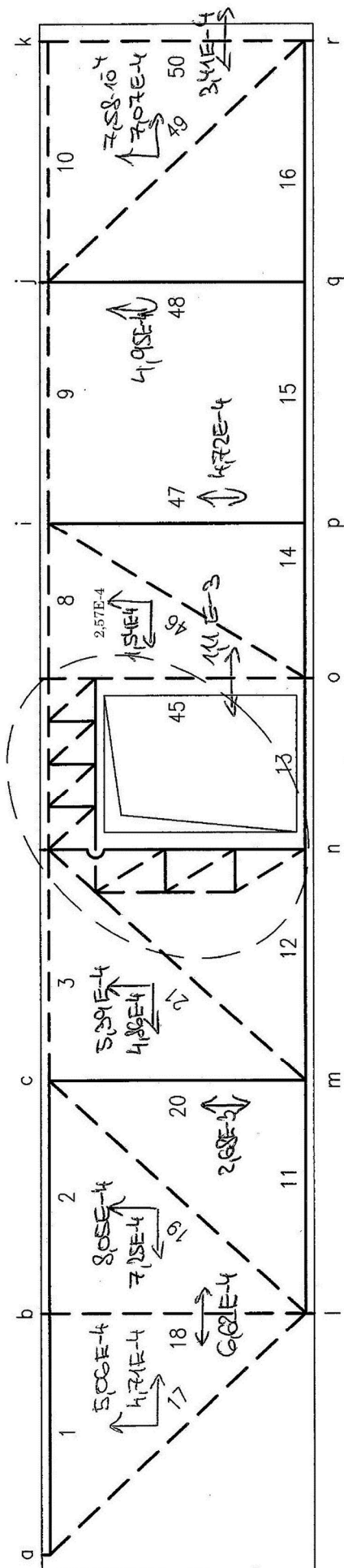
Ve všech tlačných betonových vzpěrách vznikají příčné tahy. Na ně je nutné navrhnout konstrukční výztuž. Vzhledem k tomu, že betonové vzpěry bývají šikmé, je nutné výztuž příčných tahů rozdělit do vodorovného a svislého směru. Příčné tahy v betonových vzpěrách lze v konstrukcích pozemních staveb uvažovat hodnotou 0,25 % tlakové síly podle ve vzpěře. Příčné tahy působí především ve čtvrtinách délky vzpěry, výztuž však lze rovnoměrně rozdělit po celé délce vzpěry.

Tab. 12 Návrh výztuže táhel

táhlo	N [kN]	As,req [m ²]	φ	ks	As,prov [m ²]
1	815,97	1,88E-03	12	18	2,03E-03
2	815,97	1,88E-03	12	18	2,03E-03
11	410,9	9,45E-04	25	6	2,95E-03
12	1265,38	2,91E-03	25	6	2,95E-03
13	936,37	2,15E-03	25	6	2,95E-03
14	1223,5	2,81E-03	25	6	2,95E-03
15	1223,5	2,81E-03	25	6	2,95E-03
16	1223,5	2,81E-03	25	6	2,95E-03
20	1164,78	2,68E-03			
23	1902,7	4,38E-03	25	9	4,42E-03
24	1427,03	3,28E-03	25	9	4,42E-03
25	951,35	2,19E-03	25	9	4,42E-03
26	475,68	1,09E-03	25	9	4,42E-03
31	504,22	1,16E-03			
32	504,22	1,16E-03			
33	504,22	1,16E-03			
37	1893,08	4,35E-03	25	10	4,35E-03
38	1344,94	3,09E-03	25	10	4,35E-03
39	796,14	1,83E-03	25	10	4,35E-03
43	329,02	7,57E-04			
44	329,02	7,57E-04			
47	205	4,72E-04			
48	215	4,95E-04			

Tab. 13 Návrh výztuže na příčné tahy

vzpěra	θ [°]	N [kN]	0,25N [kN]	F _x [kN]	As,req,x [m ²]	F _z [kN]	As,req,z [m ²]
17	47	-1202,29	300,57	204,99	4,71E-04	219,82	5,06E-04
18	90	-1152	288,00	0,00		288,00	6,62E-04
19	48	-1884,01	471,00	315,16	7,25E-04	350,02	8,05E-04
21	48	-1262,05	315,51	211,12	4,86E-04	234,47	5,39E-04
22		-3538,47	884,62	591,92	1,36E-03	657,40	1,51E-03
27	48	-693,18	173,30	115,96	2,67E-04	128,78	2,96E-04
28		-693,18	173,30	115,96	2,67E-04	128,78	2,96E-04
29		-693,18	173,30	115,96	2,67E-04	128,78	2,96E-04
30		-693,18	173,30	115,96	2,67E-04	128,78	2,96E-04
34	90	-1430	357,50	0,00		357,50	8,22E-04
35	90	-1096,94	274,24	0,00		274,24	6,31E-04
36		-548,14	137,04	0,00		137,04	3,15E-04
40	59	-639,3	159,83	82,32	1,89E-04	137,00	3,15E-04
41		-639,87	159,97	82,39	1,89E-04	137,12	3,15E-04
42		-639,3	159,83	82,32	1,89E-04	137,00	3,15E-04
45	90	-1934,22	483,56	0,00		483,56	1,11E-03
46	59	-521,22	130,31	67,11	1,54E-04	111,69	2,57E-04
49	47	-1802,75	450,69	307,37	7,07E-04	329,61	7,58E-04
50	90	-593	148,25	0,00		148,25	3,41E-04



Pruty 38 ~ 44 budou
být jako jednu
vzpěrnou stěnu
nahradím sumou A_s

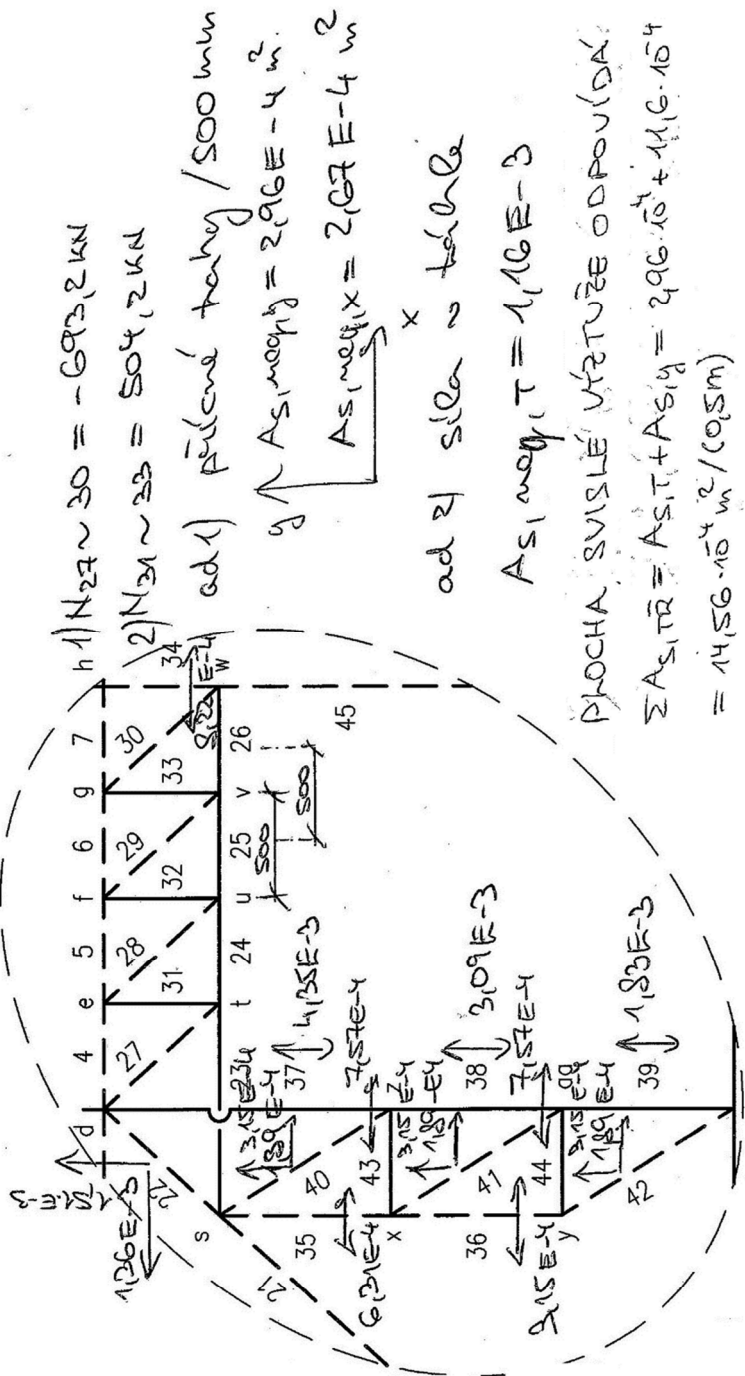
$$A_{s,y} = \max [A_{s,y1}, A_{s,y2}, A_{s,y3}]$$

$$= \max [21,45; 31,05; 46,7] \cdot 10^{-4}$$

$$\rightarrow \text{maximální plocha tlače}$$

$$A_{s,pov} = 49,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (10025)$$

$$\rightarrow \text{potřebné množství } A_{s,y}$$



$$1) N_{27 \sim 30} = -693,2 \text{ kN}$$

$$2) N_{31 \sim 33} = 504,2 \text{ kN}$$

ad 1) přídavné tahy / 500 mm

$$y \uparrow A_{s, \text{neg}, y} = 2,916 \text{ m}^2$$

$$A_{s, \text{neg}, x} = 2,07 \text{ m}^2$$

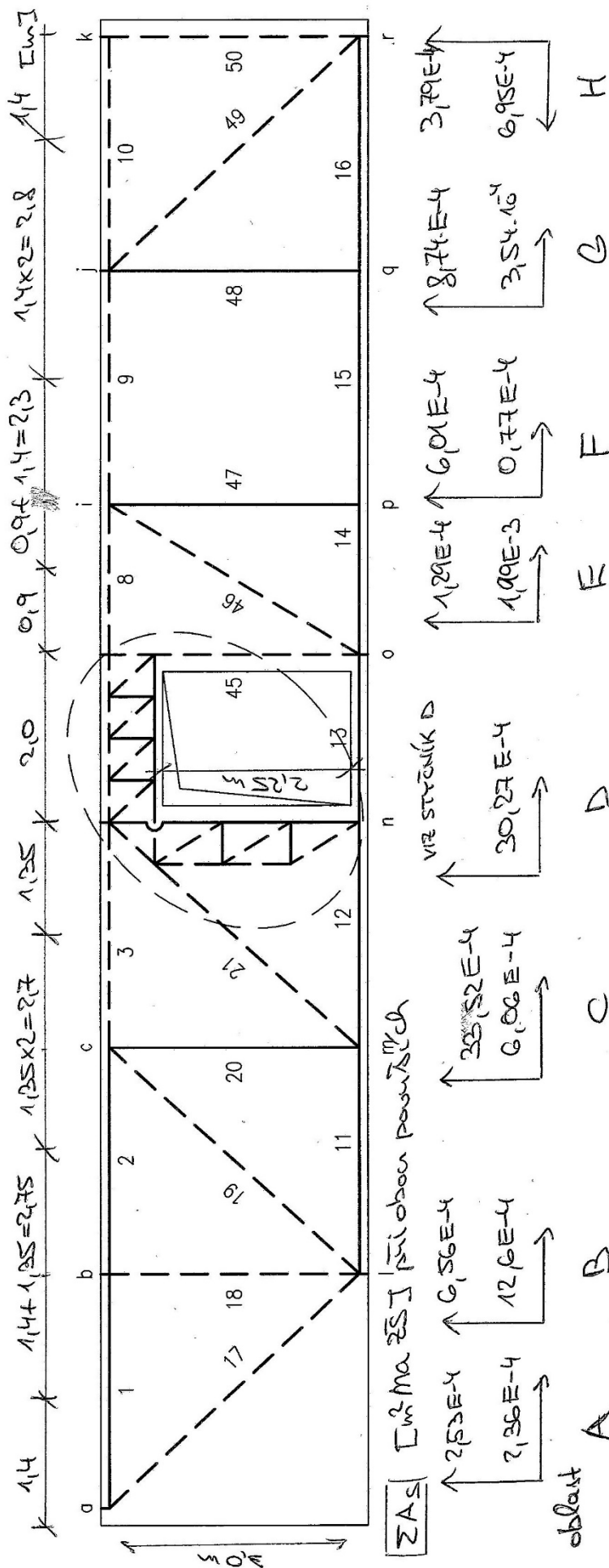
ad 2) síla \sim tahla

$$A_{s, \text{neg}, T} = 1,116 \text{ m}^2$$

PLOCHA SVISLÉ VŘTVUŽE ODPOVÍDÁ:
 $\Sigma A_{s,T} = A_{s,T} + A_{s,y} = 2,916 \cdot 10^{-4} + 1,116 \cdot 10^{-4}$
 $= 4,032 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 / (0,05 \text{ m})$

STĚNA JE PŘI JEDNOM POUČHU V OBOU SMĚRECH VĚZTUŽENA $\phi 12/300 \text{ mm}$ $A_s = 3,77 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}$
 Návrh přídavné výztuže $A_{s,add} = 2A_s, \text{ max } 1/2 - A_s > 0$
 k povrchy

zatěžovací sloupy b



OBLAST B

- nutnou plochu výztuže ve směru x
vztáhnou na oblast 0,5 m na každou
stranu od podpory l a výšky 1m,

$$\text{pak } A_{s,add} = \frac{12,6 \cdot 10^{-4}}{2} - 3,77 \cdot 10^{-4} \cdot 1 = 2,53 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

⇒ oblast nad podporou bude zahuštěna
Ø 8/300 do výšky 1m

OBLAST C - směr y

$$A_{s,add} = \frac{33,52 \cdot 10^{-4}}{2} - 3,77 \cdot 10^{-4} \cdot 2,7 \text{ m} = 6,58 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,req} = \frac{A_{s,add}}{b} = \frac{6,58 \cdot 10^{-4}}{2,7} = 2,44 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}$$

⇒ oblast bude zahuštěna Ø 8/300 $A_s = 2,62 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

oblast D - směr x kolem otvoru

$$\frac{A_{s,add}}{b} = \frac{30,27 \cdot 10^{-4} / 2 - 3,77 \cdot 10^{-4} \cdot 2,25}{2,25} = 2,96 \cdot 10^{-4}$$

oblast zahuštěna Ø 12/300

OBLAST E směr x v oblasti 1m od podpory

$$A_{s,add} = \frac{1,99 \cdot 10^{-3}}{2} - 3,77 \cdot 10^{-4} = 3 \text{ m} \Rightarrow \emptyset$$

⇒ oblast soustředěně zahuštěna Ø 8/300

pozn.

U vzpěry 22 využiji podmínku, že do plochy výztuže na příčný tah lze započítat hlavní výztuž, pokud není nad podporou stykována. Navíc do oslabeného profilu přidám 10Ø 12, $A_s = 11,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, pak $\sum A_s$ v oslabení je rovna (9Ø 25 + 10Ø 12):

$$\sum A_s = 44,2 \times 10^{-4} + 11,3 \times 10^{-4} = 55,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sum A_s < A_{s,max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot (0,75 \cdot 0,25) = 75 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Návrh smykové výztuže v oslabeném průřezu

$A_{s,req} = 14,56 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / (0,5\text{m})$ a oba povrchy

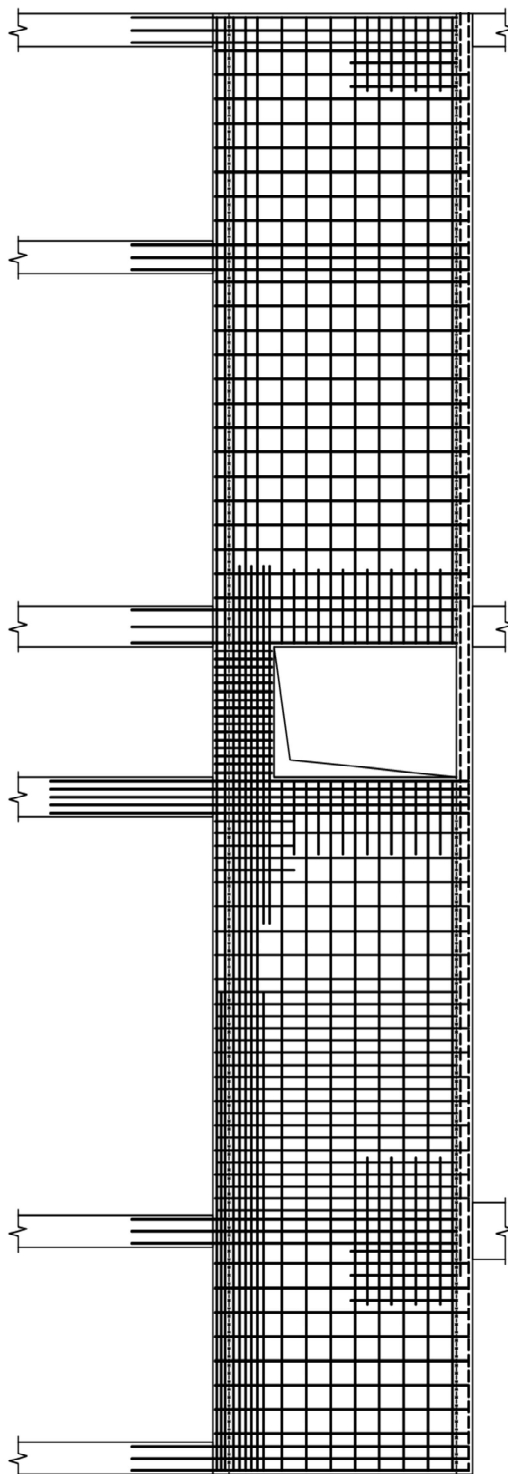
navržen dvou střížný třmínek $\phi 14/100 \text{ mm}$, $A_{s,prov} = 15,4 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / (0,5\text{m})$

Návrh U výztuže vyvázané z desky D1 na straně otvoru bez sloupu

nutná plocha výztuže v táhle 39 a výztuže na svislou složku příčných tahů $A_{s,req} = 21,45 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

navrženy 5×dva stříhy $\phi 18$, $A_s = 5 \times (2 \cdot 2,54 \times 10^{-4}) = 25,4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Obr. 74 Výsledné schéma vyztužení stěny



4.3 Dimenzování sloupu S3 v 1.NP

Sloup je vyjmut z rámu a řešen jako osamělý prvek, zatížený na koncích příslušnými silami a ohybovými momenty. Rozměry sloupu 0,4×0,35 m (delší stranou v rovině rámu). Předpokládá se dokonalé vetknutí do hlavice piloty a do stěnového nosníku, účinná délka $l_0 = \beta \cdot l \approx 0,8 \cdot 4,1 = 3,3$ m pro vzpěr v rovině i kolmo na rovinu rámu. Štíhlost obdélníkové sloupu je určena ze vztahu

$$\lambda = \frac{\sqrt{12} \cdot l_0}{h}; \lambda_{\perp} = \frac{\sqrt{12} \cdot l_0}{h_y} = \frac{\sqrt{12} \cdot 3,3}{0,35} = 32,7; \lambda_{\parallel} = \frac{\sqrt{12} \cdot l_0}{h_z} = \frac{\sqrt{12} \cdot 3,3}{0,4} = 28,6$$

...kde h rozměr sloupu ve směru vybočení.

Účinky prvního řádu vyšetřujeme na nedeformované konstrukci, avšak při uvažování geometrických imperfekcí. Pro osamělé prvky konstrukce se ztužujícím systémem lze použít zjednodušení pro vyjádření účinku imperfekce $e_i = l_0/400 = 3300/400 \approx 8$ mm. Potom koncové ohybové momenty prvního řádu s vlivem imperfekcí budou

$$M_{01} = \min(|M_{top}|, |M_{bot}|) + e_i \cdot |N_{top}|; M_{02} = \max(|M_{top}|, |M_{bot}|) + e_i \cdot |N_{top}|$$

	N_{top} [kN]	M_{top} [kNm]	N_{bot} [kN]	M_{bot} [kNm]	e_i [m]	M_{01} [kNm]	M_{02} [kNm]	$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}}$
max N_d	-2120,5	21,9	-2140,0	-15,1	0,008	32,1	38,9	-0,83
max M_{yd}								
min M_{yd}	-1407,0	14,6	-1421,1	-9,9		21,2	25,9	-0,82
max M_{zd}	-1770,0	5,6	-1790,0	-2,8		17,0	19,8	-0,86
min M_{zd}	-1540,0	-1,9	-1555,0	0,9		13,2	14,2	-0,93

Účinky druhého řádu jsou přídavné účinky zatížení vyvolané deformací konstrukce, lze je zanedbat, pokud platí $\lambda < \lambda_{lim} \leq 75$ kde $\lambda_{lim} = (20 \cdot A \cdot B \cdot C) / \sqrt{n}$, A lze uvažovat rovné 0,7; B rovné 1,1; $C = 1,7 - r_m$; $n = |N_{bot}| / (A_c \cdot f_{cd})$.

	λ	N_{bot} [kN]	n	C	λ_{lim}	$\lambda \leq \lambda_{lim}$
max N_d	28,6	-2140,0	0,77	2,53	44,4	Vyhoví
max M_{yd}						
min M_{yd}	32,7	-1421,1	0,51	2,52	54,3	Vyhoví
max M_{zd}		-1790,0	0,64	2,56	49,3	Vyhoví
min M_{zd}		-1555,0	0,56	2,63	54,1	Vyhoví

Účinky druhého řádu zanedbám, průřez je posouzen na ohybové momenty 1. řádu $M_{0Ed} = M_{02}$.

Navržena podélná výztuž $6\phi 12, A_s = 6,78 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, příčná výztuž – třmínky $\phi 8$

Konstrukční zásady

$$A_{s,min} = \max\left(\frac{0,1N_{Ed}}{f_{yd}}; 0,002A_c\right) = \max\left(\frac{0,1 \cdot 2140}{434,78 \times 10^3}; 0,002 \cdot 0,35 \cdot 0,4\right) =$$

$$= \max(4,92 \times 10^{-4}; 2,8 \times 10^{-4}) = 4,92 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \leq A_s = 6,78 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04A_c = 0,04 \cdot 0,35 \cdot 0,4 = 56,0 \times 10^{-4} > A_s = 6,78 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s_{sl,max} = 400 \text{ mm}, s_{sl,min} = \max(1,2\phi; d_g + 5; 20) = \max(1,2 \cdot 12 = 15; 32 + 5 = 37; 20) = 37 \text{ mm}$$

$$s_{st,max} = \min(15\phi; \min(b; h); 300) = \min(15 \cdot 12 = 180; \min(350; 400); 300) = 180 \text{ mm}$$

Na koncích sloupu se na vzdálenost většího rozměru sloupu, minimálně však pro tři třmínky, zmenší $s_{st,max}$ na 0,6 násobek, $s_{st} = 0,6 \cdot 180 = 100 \text{ mm}$.

základní kotevní délka pro $\phi 12$ (předpoklad plné využití výztuže $\sigma_{sd} = f_{yd}$)

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{12}{4} \cdot \frac{434,78}{2,1} \approx 620 \text{ mm}$$

kde $f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 2,1 \text{ MPa}$ (špatné podmínky soudržnosti v patě sloupu)

návrhová délka přesahu přecházející do vyšších podlaží se určí ze vztahu

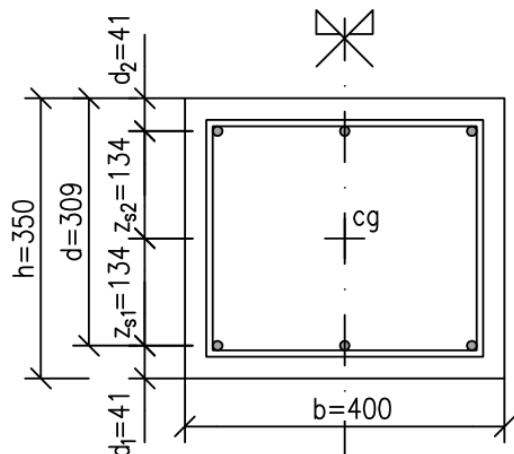
$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min} = \max(0,3\alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\phi; 200 \text{ mm})$$

pro 100 % prutů stykovaných přesahem v jednom řezu $\alpha_6 = 1,5$

$$l_0 = 1,5 \cdot 620 \cong 930 \text{ mm} \geq l_{0,min} = \max(0,3 \cdot 1,5 \cdot 620 = 280; 15 \cdot 12 = 180; 200) = 280 \text{ mm}$$

Interakční diagram kolmo na rovinu rámu XY (souměrná výztuž)

beton C30/37, krytí podélné výztuže $c = 35$ mm, počítáno s rovnoměrným rozdělením napětí v tlačném betonu; ocel B500B, pracovní diagram bez zpevnění, uspořádání výztuže viz obrázek



$$\begin{aligned} f_{cd} &= 20 \text{ MPa}, \eta = 1,0, \epsilon_{cu3} = 3,5 \times 10^{-3} \\ \lambda &= 0,8, E_s = 200 \text{ 000 MPa} \\ f_{yd} &= 434,78 \text{ MPa}, \epsilon_{yd} = 2,17 \times 10^{-3} \\ \xi_{bal,1} &= \frac{\epsilon_{cu3}}{\epsilon_{cu3} + \epsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,617 \\ x_{bal,1} &= \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 309 = 191 \text{ mm} \\ b &= 400 \text{ mm}, h = 350 \text{ mm} \\ d_1 &= d_2 = c + \frac{\phi}{2} = 35 + \frac{12}{2} = 41 \text{ mm} \\ d &= h - d_1 = 350 - 41 = 309 \text{ mm} \\ z_{s1} &= \frac{h}{2} - d_1 = \frac{350}{2} - 41 = 134 \text{ mm} \\ z_{s2} &= \frac{h}{2} - d_2 = \frac{350}{2} - 41 = 134 \text{ mm} \end{aligned}$$

Obr. 75 Posuzovaný průřez a jeho vyztužení

Bod 0: Tlakové porušení při rovnoměrném přetvoření $\epsilon_{c2} = 2 \times 10^{-3}$ po celé výšce průřezu.

$$\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_{c2} = 200 \times 10^3 \cdot 2 \times 10^{-3} = 400 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd0} = -(b h \eta f_{cd} + \sum A_s \sigma_s) = -(0,4 \cdot 0,35 \cdot 1,0 \cdot 20 \times 10^3 + 6,78 \times 10^{-4} \cdot 400 \times 10^3) = -3071 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = (A_{s1} \cdot z_{s1} - A_{s2} \cdot z_{s2}) \sigma_s = 0 \text{ kNm}$$

Bod 1: Neutrální osa prochází těžištěm výztuže S_1 , $x = d$ a je dosaženo mezního přetvoření ϵ_{cu3} v horních tlačných vláknech betonu. Výztuž S_1 není namáhána a nepodílí se na únosnosti.

$$\epsilon_{s2} = \frac{(x - d_2)}{x} \epsilon_{cu3} = \frac{(0,309 - 0,041)}{0,309} \cdot 3,5 \times 10^{-3} = 3,04 \times 10^{-3} > \epsilon_{yd} = 2,17 \times 10^{-3} \Rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd1} &= -(b \lambda d \eta f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd}) = -(0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,309 \cdot 1,0 \cdot 20 \times 10^3 + 3,39 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3) \\ &= -2125 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd1} &= b \lambda d \eta f_{cd} (h - \lambda d) / 2 + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_{s2} = 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,309 \cdot 1,0 \cdot 20 \times 10^3 \cdot (0,35 - 0,8 \cdot 0,309) / 2 + \\ &+ 3,39 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 \cdot 0,134 = 121 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Bod 2: Ve výztuži S_1 je dosaženo meze kluzu $\sigma_{s1} = f_{yd}$, neutrální osa leží ve vzdálenosti $x_{bal,1}$ odtlačeného okraje průřezu.

$$\epsilon_{s2} = \frac{(x_{bal,1} - d_2)}{x_{bal,1}} \epsilon_{cu3} = \frac{(0,191 - 0,041)}{0,191} \cdot 3,5 \times 10^{-3} = 2,75 \times 10^{-3} > \epsilon_{yd} = 2,17 \times 10^{-3} \Rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd2} &= -(b \lambda x_{bal,1} \eta f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd}) + A_{s1} \cdot f_{yd} = -(0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,191 \cdot 1,0 \cdot 20 \times 10^3) = \\ &= -1222 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd2} &= b \lambda x_{bal,1} \eta f_{cd} (h - \lambda x_{bal,1}) / 2 + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_{s2} + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_{s1} = 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,191 \cdot 1,0 \cdot \\ &\cdot 20 \times 10^3 \cdot (0,35 - 0,8 \cdot 0,191) / 2 + 2 \cdot (3,39 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 \cdot 0,134) = 160 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Bod 3: Průřez sloupu namáhán prostým ohybem, poloha neutrálné osy je určena ze silové podmínky za předpokladu $\varepsilon_{s1} > \varepsilon_{yd}$, výztuž S_2 zanedbám.

$$-b\lambda x\eta f_{cd} + A_{s1} \cdot f_{yd} = 0$$

$$0 = -0,4 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 20 \times 10^3 \cdot x + 3,39 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 \Rightarrow x = 0,023 \text{ m}$$

Ověření předpokladů

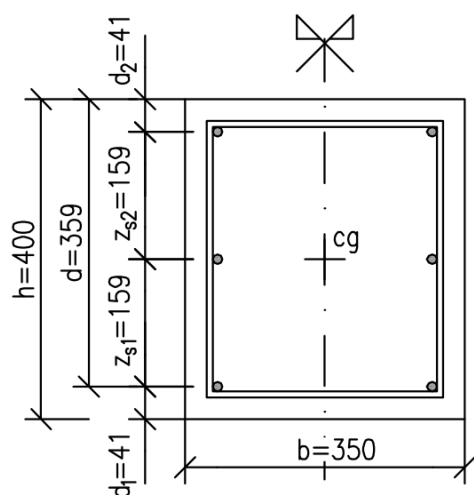
$$\varepsilon_{s1} = \frac{d-x}{x} \varepsilon_{cu3} = \frac{0,309 - 0,023}{0,023} \cdot 3,5 \times 10^{-3} = 43,5 \times 10^{-3} > \varepsilon_{yd} = 2,17 \times 10^{-3}$$

$$N_{Rd3} \approx 0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd3} = b\lambda x\eta f_{cd}(h - \lambda x)/2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_{s1} = 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,023 \cdot 1,0 \cdot 20 \times 10^3 \cdot (0,35 - 0,8 \cdot 0,023)/2 + 3,39 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 \cdot 0,134 = 44,2 \text{ kNm}$$

Body 4 a 5 nejsou pro tlačný průřez rozhodující.

Interakční diagram v rovině rámu XZ (souměrná výztuž)



$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 359 = 222 \text{ mm}$$

$$b = 350 \text{ mm}, h = 400 \text{ mm}$$

$$d_1 = d_2 = c + \frac{\phi}{2} = 35 + \frac{12}{2} = 41 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 400 - 41 = 359 \text{ mm}$$

$$z_{s1} = \frac{h}{2} - d_1 = \frac{400}{2} - 41 = 159 \text{ mm}$$

$$z_{s2} = \frac{h}{2} - d_2 = \frac{400}{2} - 41 = 159 \text{ mm}$$

$$2\phi 12$$

$$A_{s2} = 2,26 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$2\phi 12$$

$$A_{s3} = 2,26 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$2\phi 12$$

$$A_{s1} = 2,26 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Obr. 76 Posuzovaný průřez a jeho vyztužení

Bod 0: Tlakové porušení při rovnoměrném přetvoření $\varepsilon_{c2} = 2 \times 10^{-3}$ po celé výšce průřezu.

$$N_{Rd0} = -3071 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = (A_{s1} \cdot z_{s1} - A_{s3} \cdot z_{s3}) \sigma_s = 0 \text{ kNm}$$

Bod 1: Neutrálná osa prochází těžištěm výztuže S_1 , $x = d$ a je dosaženo mezního přetvoření ε_{cu3} v horních tlačných vláknech betonu.

$$\varepsilon_{s2} = \frac{(x - d_2)}{x} \varepsilon_{cu3} = \frac{(0,359 - 0,041)}{0,359} \cdot 3,5 \times 10^{-3} = 3,1 \times 10^{-3} > \varepsilon_{yd} = 2,17 \times 10^{-3} \Rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{(x - h/2)}{x} \varepsilon_{cu3} = \frac{(0,359 - 0,4/2)}{0,359} \cdot 3,5 \times 10^{-3} = 1,55 \times 10^{-3} < \varepsilon_{yd} = 2,17 \times 10^{-3} \Rightarrow$$

$$\sigma_{s3} = E_s \cdot \varepsilon_{s3} = 200 \times 10^3 \cdot 1,55 \times 10^{-3} = 310 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd1} = -(b\lambda d\eta f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd} + A_{s3} \cdot \sigma_{s3}) = -(0,35 \cdot 0,8 \cdot 0,359 \cdot 1,0 \cdot 20 \times 10^3 + 2,26 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 + 2,26 \times 10^{-4} \cdot 310 \times 10^3) = -2179 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = b\lambda d\eta f_{cd}(h - \lambda d)/2 + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_{s2} = 0,35 \cdot 0,8 \cdot 0,359 \cdot 1,0 \cdot 20 \times 10^3 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,359)/2 + 2,26 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 \cdot 0,159 = 129 \text{ kNm}$$

Bod 2.1: Ve výztuži S₁ je dosaženo meze kluzu $\sigma_{s1} = f_{yd}$, neutrálná osa leží ve vzdálenosti $x_{bal,1}$ odtlačeného okraje průřezu.

$$\varepsilon_{s2} = \frac{(x_{bal,1} - d_2)}{x_{bal,1}} \varepsilon_{cu3} = \frac{(0,222 - 0,041)}{0,222} \cdot 3,5 \times 10^{-3} = 2,85 \times 10^{-3} > \varepsilon_{yd} = 2,17 \times 10^{-3} \Rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$x_{bal,1} = 0,222 \text{ m} > h/2 = 0,4/2 = 0,2 \text{ m} \Rightarrow \text{výztuž S}_3 \text{ je tlačena}$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{(x - h/2)}{x} \varepsilon_{cu3} = \frac{(0,222 - 0,4/2)}{0,222} \cdot 3,5 \times 10^{-3} = 0,35 \times 10^{-3} < \varepsilon_{yd} = 2,17 \times 10^{-3} \Rightarrow$$

$$\sigma_{s3} = E_s \cdot \varepsilon_{s3} = 200 \times 10^3 \cdot 0,35 \times 10^{-3} = 70 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd2} = -(b\lambda x_{bal,1} \eta f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd} + A_{s3} \cdot \sigma_{s3}) + A_{s1} \cdot f_{yd} = -(0,35 \cdot 0,8 \cdot 0,222 \cdot 1,0 \cdot 20 \times 10^3 + 2,26 \times 10^{-4} \cdot 70 \times 10^3) = -1248 \text{ kN}$$

$$M_{Rd2} = b\lambda x_{bal,1} \eta f_{cd}(h - \lambda x_{bal,1})/2 + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_{s2} + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_{s1} = 0,35 \cdot 0,8 \cdot 0,222 \cdot 1,0 \cdot 20 \times 10^3 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,222)/2 + 2 \cdot (2,26 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 \cdot 0,159) = 169 \text{ kNm}$$

Bod 2.2: Ve výztuži S₃ je dosaženo mezního poměrného přetvoření $\varepsilon_{s3} = \varepsilon_{yd}$.

$$x = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} \left(\frac{h}{2} \right) = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} \cdot \left(\frac{0,4}{2} \right) = 0,123 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{(x - d_2)}{x} \varepsilon_{cu3} = \frac{(0,123 - 0,041)}{0,123} \cdot 3,5 \times 10^{-3} = 2,33 \times 10^{-3} > \varepsilon_{yd} = 2,17 \times 10^{-3} \Rightarrow \sigma_{s3} = f_{yd}$$

$$N_{Rd2} = -(b\lambda x \eta f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd} + A_{s3} \cdot f_{yd}) + A_{s1} \cdot f_{yd} = -(0,35 \cdot 0,8 \cdot 0,123 \cdot 1,0 \cdot 20 \times 10^3 + 2,26 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3) = -787 \text{ kN}$$

$$M_{Rd2} = b\lambda x \eta f_{cd}(h - \lambda x)/2 + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_{s2} + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_{s1} = 0,35 \cdot 0,8 \cdot 0,123 \cdot 1,0 \cdot 20 \times 10^3 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,123)/2 + 2 \cdot (2,26 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 \cdot 0,159) = 135 \text{ kNm}$$

Bod 3: Průřez sloupu namáhán prostým ohybem, poloha neutrálné osy je určena ze silové podmínky za předpokladu $\varepsilon_{s1}, \varepsilon_{s3} > \varepsilon_{yd}$ (*tah*), $\varepsilon_{s2} < \varepsilon_{yd}$ (*tlak*), pak $\varepsilon_{s2} = (x - d_2)/x \cdot \varepsilon_{cu3}$.

$$-(b\lambda x \eta f_{cd} + A_{s2} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{s2}) + A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s3} \cdot f_{yd} = 0$$

$$-(b\lambda x \eta f_{cd} + A_{s2} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{cu3} \cdot (1 - d_2/x)) + (A_{s1} + A_{s3}) \cdot f_{yd} = 0 \quad / \cdot x$$

$$-(b\lambda x^2 \eta f_{cd} + A_{s2} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{cu3} \cdot x - A_{s2} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{cu3} \cdot d_2) + (A_{s1} + A_{s3}) \cdot f_{yd} \cdot x = 0$$

$$0 = -0,35 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 20 \times 10^3 \cdot x^2 - 2,26 \times 10^{-4} \cdot 200 \times 10^6 \cdot 3,5 \times 10^{-3} \cdot x + 2,26 \times 10^{-4} \cdot 200 \times 10^6 \cdot 3,5 \times 10^{-3} \cdot 0,041 + 2 \cdot 2,26 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 \cdot x \Rightarrow x = 0,037 \text{ m} \neq d_2 = 0,041 \text{ m}$$

Nový předpoklad $\varepsilon_{s1} > \varepsilon_{yd} (tah), \varepsilon_{s2} < \varepsilon_{yd} (tah)$, pak $\varepsilon_{s2} = (d_2 - x)/x \cdot \varepsilon_{cu3}$.

$$-(b\lambda x^2 \eta f_{cd} - A_{s2} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{cu3} \cdot x + A_{s2} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{cu3} \cdot d_2) + (A_{s1} + A_{s3}) \cdot f_{yd} \cdot x = 0$$

$$0 = -0,35 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 20 \times 10^3 \cdot x^2 + 2,26 \times 10^{-4} \cdot 200 \times 10^6 \cdot 3,5 \times 10^{-3} \cdot x - 2,26 \times 10^{-4} \cdot 200 \times 10^6 \cdot 3,5 \times 10^{-3} \cdot 0,041 + 2 \cdot 2,26 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 \cdot x \Rightarrow x = 0,032 \text{ m} < d_2 = 0,041 \text{ m}$$

Ověření předpokladů

$$\varepsilon_{s2} = \frac{d_2 - x}{x} \varepsilon_{cu3} = \frac{0,041 - 0,032}{0,032} \cdot 3,5 \times 10^{-3} = 0,99 \times 10^{-3} < \varepsilon_{yd} = 2,17 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{h/2 - x}{x} \varepsilon_{cu3} = \frac{0,4/2 - 0,032}{0,032} \cdot 3,5 \times 10^{-3} = 18,4 \times 10^{-3} > \varepsilon_{yd} = 2,17 \times 10^{-3}$$

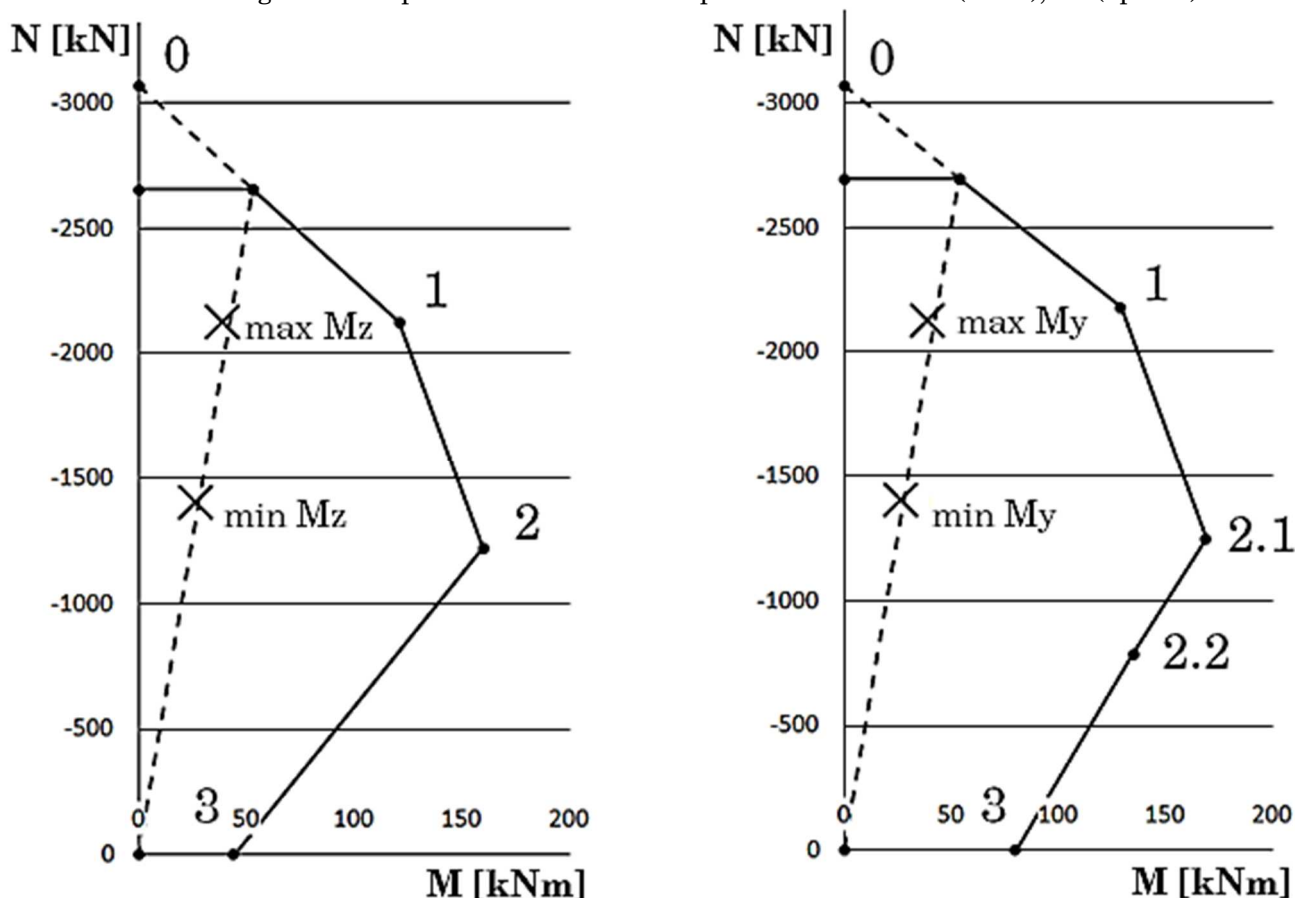
$$N_{Rd3} \approx 0 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd3} &= b\lambda x \eta f_{cd} (h - \lambda x)/2 + A_{s2} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{s2} \cdot z_{s2} + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_{s1} = \\ &= 0,35 \cdot 0,8 \cdot 0,032 \cdot 1,0 \cdot 20 \times 10^3 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,032)/2 + 2,26 \times 10^{-4} \cdot 200 \times 10^6 \cdot 0,99 \times 10^{-3} \cdot 0,159 + \\ &\quad 2,26 \times 10^{-4} \cdot 434,78 \times 10^3 \cdot 0,159 = 89,8 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Body 4 a 5 nejsou pro tlačný průřez rozhodující.

Minimální výstřednost – body za vlevo od křivky minimální výstřednosti budou posunuty na tuto křivku, $\min e_{0,\parallel} = \frac{h_z}{30} = \frac{400}{30} = 14 \text{ mm} > 20 \text{ mm}$, $\min e_{0,\perp} = \frac{h_y}{30} = \frac{350}{30} = 12 \text{ mm} > 20 \text{ mm}$

Obr. 77 Interakční diagram meze porušení obdélníkového průřezu v rovině XY (vlevo), XZ (vpravo)



Body označující účinky zatížení leží pod křivkou, průřez vyhoví na namáhání v rovině XY a XZ. Jelikož je ohybové namáhání sloupu malé, lze předpokládat, že sloup vyhoví i na namáhání mimo osy průřezu bez podrobnějšího posouzení.

Uvažoval jsem, že veškeré účinky od větru přenesou stěny. Sloup se reálně na jejich přenesení bude podílet, proto jsem na základě této úvahy navýšil průměr výztuže na 14 mm.